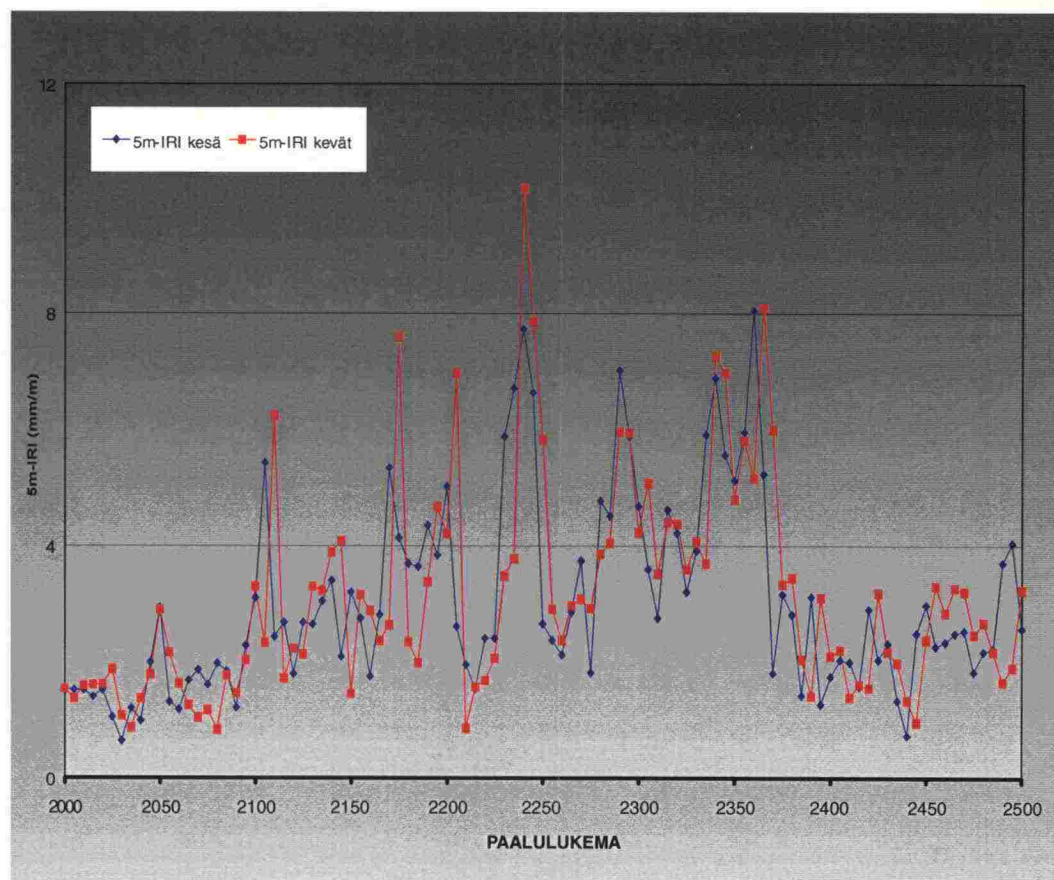


5m-IRI:n soveltuvuus tien epätasaisuuksien kartoittamiseen



Tielaitoksen
selvityksiä
39/1999

Rovaniemi 1999

TUOTANTO
Konsultointi

Tielaitoksen selvityksiä
36/1999

Marko Niku

**5m-IRI:n soveltuvuus tien
epätasaisuuksien kartoittamiseen**

Tielaitos
Konsultointi
Tiestötietopalvelut/Pohjois-Suomi

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-578-6
TIEL 3200582

Rovaniemi 1999

Julkaisun myynti
Tielaitos, kirjasto
Faksi 0204 44 2652
S-posti elsa.juntunen@tielaitos.fi

Tielaitos

Konsultointi
Tiestötietopalvelut/Pohjois-Suomi
PL 103
96101 ROVANIEMI
Puhelinvaihde 0204 44 159

Tiivistelmä

Tienpidon kustannuksista merkittävän osan muodostavat vanhan tierakenteen parannustoimenpiteet. Parannustoimenpiteet saattavat tulla toteutukseen lyhyellä suunnitteluajakaudella, jolloin tutkimusmenetelmien on myös oltava nopeasti tuloksia antavia.

Lapin Tiepiirin Mittaus- ja maatutkimusyksikön aloitteesta käynnistettiin vuonna 1996 kehitys - ja tutkimustyö tien epätasaisuuksien kartoittamiseksi 5m-IRI menetelmällä. Vuosina 1997-1999 tehtiin menetelmän toimivuuden selvittämiseksi lukuisia kenttätutkimuksia ja 5m-arvojen käyttäytymisen analysointia. Näissä tutkimuksissa todettiin menetelmän soveltuvuus paikallisten epätasaisuuksien kartoittamiseen, sekä niiden tyypillisten tunnusmerkkien ja käyttäytymismallien löytymiseen. Tässä tutkimuksessa tavoitteena oli selvittää 5m-IRI:n soveltuvuus paikallistaa lyhyitä epätasaisuuksia ja sitä kautta mittausmenetelmän soveltuvuus tieanalyysiin, sekä paikallisten routavaurioiden analysointiin. Tutkimuksissa mitattiin Lapin Tiepiirin alueella eriluokkaisia teitä n. 300 km vähintään kahteen kertaan. Toinen mittaus tehtiin tierakenteen ollessa jäässä ja toinen sen ollessa täysin sulanut. Osalta kohteista mitattiin myös routavaaitus, sekä laadittiin tieanalyysit.

Tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että 5m-IRI soveltuu erittäin hyvin paikallisten tievaurioiden kartoittamiseen sen lyhyen tulostusvälin vuoksi. Tulosten analysointi vaatii hieman kokemusta tierakenteen vauriotyypeistä ja niiden käyttäytymisestä. 5m-IRI:stä on näiden 3 vuoden aikana tullut yksi tieanalyysin ja rakenteen parantamisen perusmittauksista.

5m-IRI-mittauksella on useita etuja. Mittaukset tapahtuvat liikennevirran mukana noin 60 km/h nopeudella ja mittaukset voidaan suorittaa normaalien palvelutasomittauksien yhteydessä. Tuloksena saadaan jatkuva profiili koko kohteesta.

Alkusanat

Tässä raportissa esitellään vuoden 1997-1999 aikana tehtyjen 5m-IRI-mittausten soveltuvuutta tien paikallisten epätasaisuuksien kartoittamiseen. Tämä tutkimus on samalla tutkimuksen tekijän insinöörityö Rovaniemen teknillisen oppilaitoksen sähköosastolle. Tutkimus toteutettiin vertailemalla eri tyyppisten vaurioiden ja mittaustulosten ja niiden ominaispiirteitä toisiinsa. Lisäksi on esitetty 5m-IRI-mittauksen työohje 5m-mittauksiin sekä 5m-IRI:n numeraaliset raja-arvot ja tulosten analysointia helpottavat rajat eri vauriotyypeittäin.

Insinöörityön ohjauksesta on vastannut Toimitusjohtaja *Timo Saarenketo* Roadscanners Oy:stä, ins. *Kari Narva* Tielaitoksen Konsultoinnista. Rovaniemen teknillisen oppilaitoksen puolesta työtä ovat ohjanneet DI *Pekka Kämäräinen*. Maastomittauksissa ja tutkimusaineiston analysoinnissa on toiminut rkm *Ari Laitila* Tielaitoksen Konsultoinnista.

Rovaniemellä syyskuussa 1999

Marko Niku
Tielaitos
Konsultointi, Tiestötietopalvelut

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	9
1.1	5m-IRI ja IRI (INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX)	9
2	TIENVAURIOIDEN PÄÄTYYPIT	11
3	TUTKIMUSMENETELMÄT	12
4	5m-IRI:N TULOSTEN ANALYSOINTITEKNIikka JA TUTKIMUSKOhteET	14
4.1	Yleistä	14
4.2	5m-IRI tutkimukseen valitut kohteet	14
5	MITTAUSTEKNIikka	17
5.1	Yleistä	17
6	TULOKSET	19
6.1	Tulosten tarkkuus ja virhemarginaalit	19
7	OMINAISKÄYRÄT	26
7.1	Erityyppiset vauriotyytit ja niiden ominaiskäyrien määrittäminen	26
8	YKSITTÄISTEN MITTAUKSIEN SUHDE TIENPOIKKEAMISIIN	27
8.1	Pakkaskatkot ja poikkihalkeamat	27
8.2	Kaapeli – ja Putkikaivannot	31
8.3	Siirtymäkiilat+kallio, rumpuvauriot ja siltapenkereet	32
8.4	Monimuotoiset vauriokohdat	36
8.5	Muut vauriot	42
8.6	Päällysteessä olevat reiät ja paikkaukset	43
9	SUOSITELTAVAT NUMERAALISET RAJA-ARVOT	44
9.1	Eri vauriotyyppien raja-arvot	44
10	5m-IRI:N KÄYTTÖKELPOISUUS	47
10.1	Yhteenvedot	47
	KIRJALLISUUSLUETTELO	48

1 JOHDANTO

1.1 5m-IRI ja IRI (INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX)

IRI-tasaisuusmittarit ovat kehittyneitä lasermittareita, joissa mittauksen tuottamaksi pituussuuntaista tasaisuutta kuvaavaksi tunnusluvuksi on otettu käyttöön IRI-arvo. Myöhemmin puhutaan vain IRI:stä tai 5m-IRI:stä. Tunnusluku eli IRI-arvo on luotu maailmanpankin rahoittaman ns. Brasilia-kokeen lopputuloksena kansainväliseksi tasaisuusmittausstandardiksi. Sitä voidaan pitää maailman laajuisesti pituussuuntaisen tasaisuuden perustunnuslukuna. Yksikkönä käytetään mm/m tai m/km. IRI:n laskennallista teoriaa eikä mittauskaluston toimintaperiaatteita ei tässä raportissa käydä läpi.

Tiehallinnolla on Suomessa käytössä verkkotason IRI-mittausjärjestelmä jolla selvitetään tiestön kunto reaaliajassa. Mittaukset suoritetaan valta- ja kantateillä kerran vuodessa ja muilla päällystetyillä teillä kahden vuoden välein. Mittauksissa saadaan IRI-arvot laskettuna 100 m:n keskiarvolla, eli järjestelmä antaa tietyn IRI-Parametrin (mm/m) sadan metrin jaksoissa. Pyrittäessä tarkkaan epätasaisuuksien kartoittamiseen korjattavilla tieosilla 100:n metrin keskiarvolla yksittäiset pahat vauriot suodattuu pois ja tarkkaa sijaintia ei pystytä selvittämään. Kyseisten ongelmien vuoksi aloitettiin kehittämään 5m-IRI:ä (VIIDEN METRIN IRI).

5m-IRI on kehitetty nykyisen palvelutasomittauksen (PTM-mittaus) pohjalta muokkaamalla mittausohjelmistoja tuloksia lyhyempään tallennusväliin. Nykyaikaisten tietokoneiden ja anturakorttien kehitys on luonut edellytykset käsitellä suuria mittaustiedostoja liikkuvassa kalustossa sekä analysoidaan mittaustulokset reaaliajassa heti mittaustapahtuman jälkeen.

Tällä hetkellä tietokoneena P133-prosessorilla, 2.0 Gt:n kovalevyllä ja 100 Mt:n siirrettävällä pakkausasemalla sekä 16 Mt:n keskusmuistilla varustettu tietokone. Mittauskalustossa on yksi optinen **LASERMITTARI** sekä **15 kpl. ULTRAÄÄNIAANTURIA** oheislaitteineen.

5m-IRI:n kehittämisen lähtökohtana oli pituussuuntaisten vaurioiden tarkempi kohdentaminen, sekä selvittää löytyisikö vauriotyypeille parametrejä joilla pystyttäisiin tietyn 5m-IRI:n perusteella suoraan analysoimaan vauriotyypit.

Toisena lähtökohtana oli pyrkiä selvittämään pystytäänkö 5m-IRI:n avulla paikallistamaan routivat kohdat tiestä vertailemalla mittaustuloksia kevät- ja kesämittauksissa.

5m-IRI:ä pystytään myös käyttämään hyväksi määritettäessä päällysteen uusinnassa ns. tasaus kohteita, eli pystytään määrittämään ne kohdat tiestä joissa pitää suorittaa tasaavia toimenpiteitä siten, että kyseiset epätasaisuudet eivät heijastu läpi uusittuun päällysteeseen.

5m-IRI:n etuna on sen suuri mittausnopeus, käytännössä 60-70 km/h ja siten sen edullisuus esim. paikallistaa tiestöstä sellaiset kohdat jotka tarvitsevat joko lisätutkimuksia tai korjaustoimenpiteitä.

Yhtenä tärkeimmistä lähtökohdista oli myös tarvittavan kaluston olemassa olo valmiina ja 5m-IRI:n kehittäminen tulisi olemaan pääasiassa ohjelmistollista tasoa ja tutkimustyötä, jolloin kustannukset eivät nousisi korkealle ja valmiille kalustolle saataisiin lisätoimintoja.

2 TIEVAURIOIDEN PÄÄTYYPIT

Tierakenteen erityyppiset vauriot aiheutuvat tierakenteessa tapahtuvista rakenteellisista, mekaanisesta kuormituksesta ja ikääntymisestä johtuvista muutoksista. Yleisimmät vauriot ovat päällysrakenteen urautuminen ja kantavuuden heikentyminen.

Kantavuusarvojen muutoksien pääsyinä ovat mm. jakavan- ja kantavan kerroksen kiviaineksen rakeisuuden muutokset liikenteen vaikutuksesta sekä kuivatuksen toimimattomuus tierakenteessa. Myös alusrakenteiden, pääasiassa pohjamaiden kantavuusarvojen heikentyminen vaikuttaa päällysrakenteen ominaisuuksiin. Tierakenteessa selvästi kantavuuden pettämisestä aiheutuneita vaurioita ovat mm. ajourapainumat, tienreunapainumat/luiskamuutokset sekä verkkohalkeamat. Pohjamaiden kantavuusarvojen laskeminen ilmenee pääasiassa tierakenteen tasaisena pitkittäisenä painumisena.

Routivuudesta aiheutuvat muutokset tierakenteessa voidaan jakaa karkeasti lieviin- ja pahoihin routavaurioihin. Lieville vaurioille tunnusomaisimpia piirteitä ovat erityyppiset päällystevauriot, kuten pituushalkeamat, loivat pitkittäiset epätasaisuudet ja pakkaskatkot.

Pahoille routavaurioille tyypillisimpiä vaurioita ovat pahat heitot, leveät pituushalkeamat tiessä sekä eriaisteiset muuntyyppiset päällystevauriot. Routivuutta aiheuttaa pääasiallisesti tierakenteeseen päässyt vesi yhdessä routivan tiemateriaalin kanssa, jotka jäätyessään laajenevat tierakenteessa.

3 TUTKIMUSMENETELMÄT

3.1 Eri tutkimusmenetelmien käyttö rakenteen parantamiseen tähtäävässä suunnittelussa

Tiestön perusparannuksen suunnittelu- ja rakennuskustannusten minimoimisen lähtökohtana on vaurioiden tarkka analysointi, parannuksen suunnittelu ja oikeat työmenetelmät. Jokaisella osa- alueella on tärkeää että kustannukset pystytään pitämään mahdollisimman alhaalla, kuitenkin laadun siitä kärsimättä. Kohdennettaessa tutkimukset tarkasti oikeille paikoille ja selvittämällä vaurion syyt, pystytään tien rakenteellista ja taloudellista ikää kasvattamaan merkittävästi.

5m-IRI kertoo tien pituussuuntaisen epätasaisuuden 5:m matkalta. 5m-IRI-mittauksella pystytään myös paikallistamaan tiessä tapahtuvat muutokset roudan- ja roudattoman maan aikana. Ensimmäinen mittaus toteutetaan roudanaikaan heti keväällä kun tien pinta on sulannut ja kuivannut. Toinen mittaus suoritetaan elo- syyskuussa jolloin routa on sulanut. Tuloksia vertailemalla pystytään paikallistamaan routavauriokohdat, jolloin tarkemmat tutkimukset on helpompi keskittää kyseisille kohdille. 5m-IRI-mittaus ei ilmaise urautumista tai reunapainumaa, jos se on tasaista, mutta tämä tieto saadaan uramittauksesta joko positiivisena uratietona (ajourat) tai negatiivisena (reunapainumat) jolloin esim. kantavuustutkimukset voidaan kohdistaa tarkoin.

Robottitakymittauksessa käytetään automaattisesti prismaa seuraavaa, jalustalleen asennettua takymetrilaitetta. Laite sijoitetaan mittauskohteella hyvälle näköyhteydelle mitattaviin pisteisiin, jolloin voidaan mitata yhdellä mittausajolla jopa 2.0 km. Mittausajoneuvoon kiinnitetään tien pinnanmuotoa seuraava prisma, ja autolla ajetaan kuljettaen prismaa mitattavalla linjalla, kuten keski- tai reunaviivalla. Takyometri havaitsee liikkuvan prisman 0.4 sekunnin välein ja tallentaa kohteen XYZ-koordinaatit valittuun muistipaikkaan. Robottitoiminnolla koko mittaustapahtuman voi suorittaa yksi tehtävään koulutettu ammattitaitoinen henkilö. Mittaustapa soveltuu nopeutensa vuoksi erityisen hyvin routamittaukseen. Päivässä mitattava tiepituus voi kasvaa perinteiseen takyometrillä tehtävään routamittaukseen verrattuna jopa 5...10-kertaiseksi olosuhteista riippuen. Se soveltuu myös tien maastomallimittaukseen, josta saadaan esim. tien sivukaltevuudet.

Silmämääräisellä havainnoinnilla pystytään määrittämään tien erityyppisiä vaurioita jotka ulottuvat päällysterakenteeseen. Silmä määräistä havainnointia käytetään muiden mittausmenetelmien tukena ja se tehdään aina uudistettavalle kohdalle. Kokenut suunnittelija näkee jo tien vauriosta paljon siitä mistä vaurio johtuu. Silmä määräistä havainnointia käytettiin yleisesti analysointimenetelmänä määrittäessä 5m-IRI-arvoja ja niiden tuloksien riippuvuutta muihin mittausmenetelmiin.

Maatutkalla voidaan nopeasti luodata tien kerrosrakenteista jatkuva pituusprofiili. Eritajuisia antennoja käyttämällä vaikutetaan luotaussyvyyteen ja -tarkkuuteen. Maatutka-aalto heijastuu rajapinnoilta, joilla väliaineen sähköiset ominaisuudet muuttuvat. Tierakenteessa ominaisuusmuutoksia aiheuttavat pääasiassa rakenteiden kosteus- ja tiiveyserot sekä raekoon vaihtelut. Maatutkan pystyerotuskyky eli kyky havaita erillisiksi kerroksiksi lähellä toisiaan olevia kerroksia riippuu tutka-aallon pituudesta kyseisessä väliaineessa ja on noin puolen aallonpituuden luokkaa. 1 GHz antennilla erotuskyky on tiemateriaaleissa tyypillisesti 5 – 7 cm ja 500 MHz:n antennilla 10 – 15 cm. Maatutkalla voidaan mitata tierakennetta ympäri vuoden, mutta parasta aikaa mittaukselle on kuitenkin kesä ja syksy, jolloin koko tierakenne on sula. Tällöin eri kerrosten väliset kosteus- ja siten dielektrisyyskontrastit ovat suurimmillaan.

Pudotuspainolaite on dynaaminen kantavuuden mittalaite, jolla määritetään tien pinnan kimmoinen taipuma. Mittauksessa määritetään maksimitaipuman lisäksi tien pinnan taipuma eri etäisyyksillä kuormituskohdasta (taipumasuppilo). Kuormitusimpulssin aiheuttama pinnan taipuminen mitataan mittapalkissa sijaitsevien mitta-antureiden avulla. Lähellä kuormituslevyä mitatut taipumat kuvaavat päällysrakenteen yläosan ominaisuuksia ja taipumat etäällä kuormituslevystä alusrakenteen laatua. Pudotuspainolaitteen avulla voidaan tierakennetta arvioida kantavuusarvon lisäksi taipumasuppilosta johdettavilla tunnusluvuilla. Laitteella voidaan mitata luotettavasti sidotuilta ja sitomattomilta pinnoilta. Pudotuspainolaitteella mitattuja tuloksia voidaan analysoida, jatkojalostaa ja käyttää hyväksi erilaisiin tarkoituksiin kehitetyissä tietokoneohjelmissa.

4 5m-IRI:N TULOSTEN ANALYSOINTITEKNIikka JA TUTKIMUSKOhteET

4.1 Yleistä

Tulosten käsittelyssä erityyppiset vauriokohdat pyritään varmistamaan toisilla mittausten menetelmillä luotettavuuden parantamiseksi ja suunnittelun tarkentamiseksi. Erityyppisissä vaurioissa käytetään yleensä erityyppisiä tutkimusmenetelmiä esim. routavaaitukset kertovat hyvin tien routimisen tasosta ja epätasaisuusmittauksilla pystytään määrittämään onko niistä tierakenteelle ja liikenteelle haittavaikutuksia.

Nykyaikainen tulosten analysointitekniikka ja automaattisen tietojenkäsittelyn luomat mahdollisuudet mahdollistavat mm:ssa erityyppisten mittaustulosten ja formaattien yhdistämisen. Esimerkiksi tutkaluotauksen kanssa piirtyvät 5m-IRI ja pudotuspainolaitteen tulosten käyrät, jotka helpottavat suunnittelijaa kohdentamaan suunnittelun ja tulosten analysoinnin vain korjausta/tarkempaa tutkimusta vaatimiin kohteisiin. Tällä saavutetaan esim. huomattavia ajan- ja kustannusten säästöjä suunnittelussa sekä suunnitelmien tarkkuudessa. Nykyinen tulosten analysointi on siirtynyt pääasiassa atk-pohjaiseksi ja graafiseksi. Graafinen analysointi mahdollistaa suurien mittaustiedostojen kokonaisvaltaisen käsittelyn helpoksi.

5m-IRI-mittaus tullaan toteuttamaan kokonaisuudessaan graafisena käyttöliittymänä ja tulosteet tulevat olemaan graafisessa muodossa.

4.2 5m-IRI tutkimukseen valitut kohteet

5m-IRI:n tutkimiseen valittiin **LAPIN TIEPIIRIN** alueelta kohteita, jotka ovat pääasiallisesti vuoden 1998 päällysteohjelmassa ja siten palvelivat myös todellista suunnittelua. Tieluokat vaihtelivat valta- ja kantateistä muihin päällystettyihin maanteihin. Yhteensä mitattiin n.200 km, sekä yksittäisiä tutkimuksen kannalta kiinnostavia kohteita. Osa kohteista oli kesämittauksien osalta tehty jo syksyllä 1996 ja ne uusittiin keväällä ja syksyllä 1997. Vuoden 1997 aikana mitattiin n. 800 kaista km. Osa kohteista mitattiin myös keväällä 1998 ja syksyllä 1998, jolloin pyritään alustavasti selvittämään 5m-IRI:n soveltuvuutta käyttää sitä ns. ennustettavana mittausten menetelmänä tulevina vuosina. Yhtenä tarkoituksena vuoden 1998 mittauksilla oli selvittää minkä tyyppiset epätasaisuudet heijastuvat päällystämisen jälkeen tien pintaan ja minkä tyyppiset epätasaisuudet vaativat korjaustoimenpiteitä ennen päällystämistä.

Kohteista karsittiin lopulliseksi aineistoksi sellaiset kohteet jotka hyödyntäisivät tutkimusta parhaiten ja lopulliseksi analysoitavaksi jäi n. 150 km pääosiltaan valta- ja kantateitä. Vauriokohdrien lukumääräksi valittiin n. 100 kpl. Näihin sisältyi samantyyppisiä vaurioita 3-15 kpl:tta/tyyppi. Näiden vauriotyyppien avulla pystyttiin luomaan parametrejä ja tyyppilliset tunnusluvut erilaisille vauriotyypeille. Näille vauriokohdille on kaikille tehty silmämääräinen arviointi, sekä osa kohteista on vaaittu. Tutkaluotausta ja tieanalyysiä on käytetty hyväksi vaurioiden syiden selvittämiseksi.

Kesän 1998 päällystesuunnittelumittauksien yhteydessä otettiin vielä yksittäisiä tutkimuksen kannalta tarkentavia kohteita tarkasteltavaksi. Näiden osuus kokonaistutkimuksen kannalta on kuitenkin pieni.

VT5, tieosat 412, 413, 414, 415 JA 416

Tieosat sijaitsevat **PELKOSENNIEMEN** ja **SODANKYLÄN** välillä tieosan 416 loppuessa kyseisten kuntien kunnanrajaan. Yhteensä mitattu n.28.5 km. Tiellä on suoritettu tarkka silmämääräinen havainnointi kahden henkilön toimesta vauriokohdilla. Kohteella esiintyi routavaurioita runsaasti varsinkin alavilla kohdilla suoperäisillä pohjamailla. Tieosat 413 ja 414 kuuluvat vuoden 1998 päällystekohteisiin. Tieosille 414 – 416 tehtiin syksyllä 1998 rakenteen parantamis- ja päällystesuunnittelu. Kohteessa oli aloitettu massanvaihto ja perusparannustyöt kesällä 1997.

MT 930, tieosat 7, 8, 9 JA 10

Tieosat sijaitsevat **YLITORNIOLLA** välillä **MELLAKOSKI-MELLAJÄRVI**. Kohde kuuluu **MISU**-projektiin ja siitä on tehty useita erityyppisiä mittauksia mm. maatutkaluotaukset, Robottakyo-mittaukset sekä PP-mittaukset. Mitattu on yhteensä n. 13.3 km. Kohteella on yhteensä 2700m routavauriota, 6400m hyvää tierakennetta, 3200m pituushalkeamaa ja 1223m urapainumaa. Tämä kohde on ollut tärkein Parametrien analysoinnissa koska havaintoja on tehty eri mittaaajien toimesta. Kyseiset tieosat kuuluvat vuoden 1999 päällystekohteisiin.

MT 939, tieosat 1, 2 ja 3

Tieosat sijaitsevat **KOLARISSA** välillä **KOLARI-KURTAKKO**. Kohde kuuluu valtakunnalliseen **MISU**-Projektiin ja siitä on tehty samat mittaukset kuin MT 930:llä. Mitattu on yhteensä n. 10 km. Kohteella on alussa pahoja routavaurioita ja näiltä kohdista on tehty robottimittaukset. Kohteelle on tehty myös maastomalli. Tie tullaan osittain linjaamaan ja rakentamaan uudestaan.

MT 9552, tieosat 1, 2, 3 JA 4

Tieosat sijaitsevat **KITTILÄSSÄ** välillä **KOTAKUMPU-NILIVAARA**. Kohteessa on suoritettu stabilointi ja päällystystyöt 5m-IRI-Mittauksien jälkeen tieosilla 1 paaluvälillä 2137-2579 ja tieosalta 2 paalulukemalta 747 tieosalle 4 paalulukemalle 6226. Tältä kohteelta on suoritettu myös 5m-IRI-mittaukset stabiloinnin ja uuden päällysteen päältä. Yhteensä mitattu pituus on n.20 km. Tältä kohteelta on saatu mm. tietoa minkälaiset mittaustulokset ovat virheettömältä päällysteeltä ja paljonko stabilointi parantaa tien tasaisuuksia.

MT 9262, tieosat 1,2,3 JA 4

Tieosat sijaitsevat **TERVOLASSA** välillä **LAUTIOSAARI-SOMPUJÄRVI**. Kohteessa on suoritettu päällystystyö mittauksien jälkeen. Tie on tyypillinen hyväkuntoinen maantie. Kohteessa oli suhteellisen paljon lieviä pakkaskatkoja ja suopohjaisilla osuuksilla selviä rumpuvaurioita.

MT 926, tieosat 14,15 JA 18

Tieosat sijaitsevat ns. vanhalla Kemintiellä välillä **TERVOLA-PETÄJÄSKOSKI** ja tieosa 18 välillä **RAUTIOSAARI-VALAJASKOSKI**. Tieosat 14 ja 15 olivat stabilointikohteina vuonna 1997 ja silloin mitattiin 5m-IRI myös stabiloinnin päältä. Tiellä oli paikoin erittäin pahoja routimisesta aiheutuneita pitkittäishalkeamia.

Tieosa 18 oli päällystetty vuonna 1996, mutta routiminen tiellä oli kohtalaista. Päällyste oli uutta ja sen pintaan ei ollut ilmaantunut vielä minkään tyyppisiä päällystevaurioita. Tieosa antoi arvokasta tietoa mm. poikkihalkeamien, verkkohalkeamien yms. vaurioiden 5m-IRI -arvoista sekä niiden vaikutuksesta mittauksen luotettavuuteen.

MT 93, tieosat 3 ja 4

Tieosat sijaitsevat **ENONTEKIÖLLÄ** välillä **PALOJOENSUU-HETTA**. Kohde kuului myös vuoden 1997 päällystyskohteeksi. Näillä tieosilla on tehty tutkimittaukset ja ensimmäiset 5m-IRI-mittaukset jo syksyllä vuonna 1996. Tie kulkee Pohjois-Lapissa tyypillisellä tavalla, vaihdellen alavilla suoalueilla ja moreenisilla routimattomilla hiekkakankailla.

5 MITTAUSTEKNIikka

5.1 Mittaustavat

Mittaustavan valinnassa tärkein kriteeri on se kuinka tarkkaan tieosat pyritään mittaamaan ja kuinka yksityiskohtaista tietoa tarvitaan. Toistomittaukset nostavat 5m-IRI:n luotettavuutta, mutta myös aina nostavat olennaisesti myös kustannuksia. Mittauksen sitomisen tarkkuus tieosan jakopisteisiin vaikuttaa olennaisesti vauriokohdan paikallistamiseen. Seuraavana on esitetty kaksi mittaustapaa joista ensimmäinen on suositeltavin.

Mittaustapa 1

Käytännössä on todettu tarkimmaksi mittaustavaksi tapa, jolloin aluksi mitataan tieosan tarkka pituus ja maalataan tiehen maalimerkit. Seuraavat mittaukset on helppo sitoa tarkasti samalle kohdalle. Tieosan mittauksen jälkeen luodaan kiihdytyskaista edeltävälle tieosalle, jotta itse tieosan mittaus lähtee heti alusta käyntiin jakopisteeltä. Tämän jälkeen suoritetaan itse kohteen mittaus. Mittaus jatkuu jakopisteen yli jotta tulos saadaan tarkasti loppuun asti, automatiikan lopettaessa mittauksen pituuden tullessa täyteen. Tulokset ajetaan välittömästi graafiseen muotoon jonka jälkeen voidaan heti suorittaa silmämääräinen havainnointi ja tarvittaessa merkitä vauriokohdat maastoon. Tämä helpottaa jatkotutkimuksia ja tarkentaa tutkimuspaikat. Samalla nähdään onko tarpeellista tehdä toistomittauksia. Maastoon tehdyt merkinnät helpottavat muiden mittauksien sitomista tarkkaan paikkaan.

Mittaustapa 2

Toinen tapa mitata on mitata kohteet (tieosat) lentävänä, kuten PTM-mittauksessa, eli tieosittain. mittaukset tasataan jakopisteille hiljentämällä mittaussnopeus 40 km/h:ssa jakopisteen kohdalla ja siitä hiljaa kiihdyttämällä takaisin normaaliin mittaussnopeuteen. Tällöin vauriokohdan paikantamisen tarkkuus pienenee. Tällöin vauriokohdan tarkkuus on luokkaa +/- 5m. Mittaustavalla 2 voidaan mitata yhdellä kertaa max. <32 km.

Mittaustavassa on seikkoja, jotka on otettava huomioon mittaustuloksen laadunvarmistamiseksi, sekä tulosten myöhempää arkistointia varten. Seuraavissa kohdissa tulisi noudattaa niitä koskevia ohjeita eikä tehdä toisin ellei erittäin pakottavaa syytä ole. Poikkeamat seuraavista kohdista saattavat olennaisesti vaikeuttaa eri mittaustapojen tulosten yhdistelyä.

1. mittaussuunta aina tieosan kasvavaan suuntaan
2. mitattava yksi tieosa/mittausjakso < 12 km
3. mittaussnopeus 60-70 km/h
4. mittaaukselle aiheutuneet pienetkin häiriöt (ohitukset, likakohdat jne.) -> mittaustulosta ei tallenneta, vaan kohde uusitaan.

5. vajaat tieosamittaukset tallennetaan omaan arkistoon tai toimitetaan vain suoraan tilaajalle eikä arkistoida.
6. tieosakohtaisissa mittauksissa arkistoidaan kevät – ja kesämittaukset eri arkistoihin.

Muuten noudatetaan PTM-mittauksen yleisiä mittaus- ja laadunvarmistusohjeita.

Mittauksissa noudatetaan seuraavia mittautapoja:

Tapa 1. Mitataan kohde tieosittain keväällä roudan aikana ja loppukesästä roudan sulattua. Samalla suoritetaan routavaaitukset kevätmittauksen antamilla ns.vauriokohdilla, jotka toistetaan loppukesällä. Mittauksella pystytään määrittämään ne kohdat tiestä missä tapahtuu muutoksia roudan aiheuttamana. Kevätmittaus tulisi suorittaa heti kun tiet on sulaneet ja kuivat (max. routa)

Tapa 2. Mitataan kohde kerran, mielellään keväällä, jonka jälkeen suoritetaan tarkemmat tutkimukset esim. tutkaluotauksella, kantavuusmittauksilla jne.

Suosittelavaa olisi käyttää tapaa 1. jolloin saadaan tarkempaa tietoa kohteen routakäyttäytymisestä. Kustannukset eivät ole esteenä toistomittauksille, sillä ensimmäinen mittaus on aina n.30 % kalliimpi. Kustannukset laskevat kun on jo etukäteen tiedossa mitattava kohde ja sen tunnuspiirteet (kiihdytyskaistat, jakopisteet).

Tärkeä kustannussäästö tulee myös siitä, että mittauskauden alussa on jo tiedossa seuraavan mittauskauden rekisterimittausohjelma, joka voidaan lomittaa muiden mittauksen kanssa. Tällöin suurimmat säästöt tulevat siirtoajoista ja matkakustannuksista.

6 TULOKSET

6.1 Tulosten tarkkuus ja virhemarginaalit

Tulosten tarkkuuteen vaikuttavia seikkoja on mm:ssa

1. mittauskaluston kunto
2. mittauslaitteiden virhemarginaalit
3. mittaustekniikan virhemarginaalit
4. inhimilliset virheet
5. sääolosuhteet

Seuraavassa tarkkuuksien ja virhemarginaalien käsittelyssä on keskitytty vain tarkastelemaan 5m-IRI-mittauksen antamien arvojen virhemarginaaliin. Virhemarginaalien määrittäminen on kyseisessä tapauksessa hankalaa muilla menetelmillä kuin monilla toistomittauksilla. Toistomittauksilla selvitettiin mittauksien toistettavuus ja satunnaisten virheiden vaikutus tuloksiin.

Mittauskaluston kunto tarkastetaan PTM-auton laadunvalvontaohjeiden mukaan. Se sisältää mm. vuosihuollon- ja mittalaitteiden tarkastuksen VTT:llä, sekä mittaajien toimesta tehtyt säännölliset mittalaitteiden kalibroinnit ja testausmittaukset.

Mittauslaitteiden virhemarginaalia ei ole otettu huomioon tarkasteltaessa 5m-IRI:n arvoja. Koska kyseisen virheen vaikutus on epäolennainen, eli se on suhteessa erittäin pieni verrattuna esim. ajolinja, matka yms. poikkeamiin. Mittaustekniikan virhemarginaalit ovat 5m-IRI-mittauksen kannalta paljon ratkaisevimpia ja niiden minimoimiseen ja vaikutusten selvittämiseen mittautulokseen on perehdytty seuraavassa. Inhimilliset virheet pystytään minimoimaan selkeiden mittausohjeiden ja hyvän mittauskoulutuksen avulla sekä laadunvarmistus järjestelmän avulla (mittausohjelma).

Mittautulosten toistettavuutta tutkittiin ajamalla useita kohteita kolmeen kertaan ja vertaamalla saatuja tuloksia toisiinsa. Toistettavuudessa tutkittiin PTM-auton mittausmatkojen paikkaansa pitävyyttä ajamalla samat tieosat 3-kertaan ja vertaamalla pulssimatkamittarin lukemia. Samalla tutkittiin kevät- ja kesämittausten matkojen eroavaisuuksia. Mittauksissa tutkittiin myös vauriokohtien arvojen muuttumista eri mittauskerroilla. Näin saatiin tietoa tuloksien riippuvuudesta eri mittauskertojen välillä. Samalla selvitettiin mittauskertojen määrän vaikutus saadun tiedon luotettavuuteen.

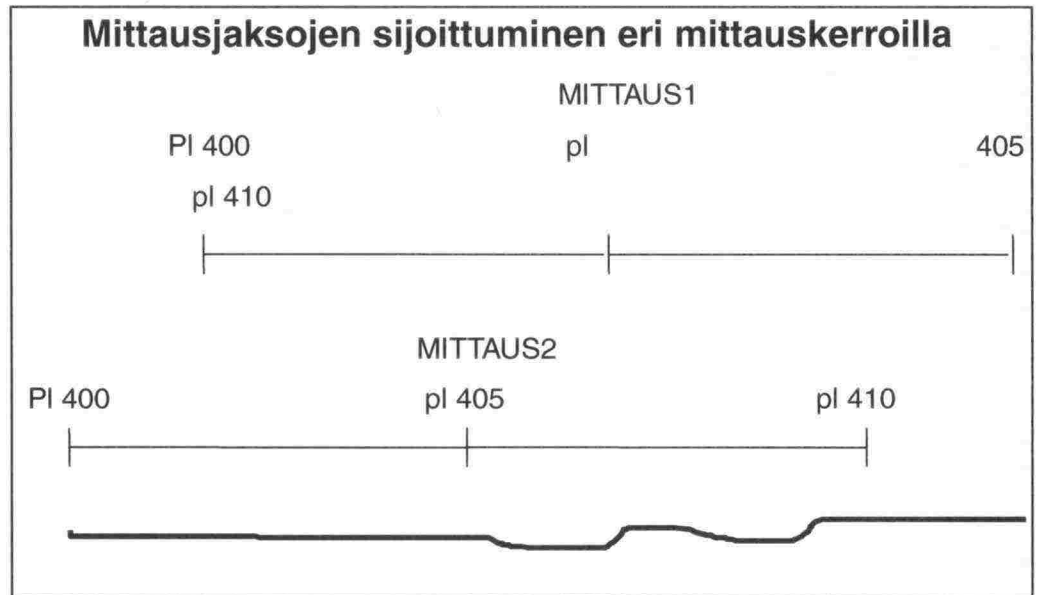
Virheen minimoimiseksi on erittäin tärkeää että auton pulssimatkamittari kalibroidaan riittävän usein mittaradoilla. Toinen tärkeä seikka on kuljettajan valitsema ajolinja eli se, että auto kulkee tarkoin ns. ajourissa joka mittauskerralla eikä esim. ajolinjojen muutoksia mutkissa tapahdu. Alla olevasta taulukosta käy ilmi että paalutukseen sitominen on tarkkaa jo yhdellä mittauskerralla ja kokeneen ajajan ajolinjojen vaikutus kokonaismatkaan on hyvin pieni. (matkalukemat on otettu auton tarkkuusmatkamittarista)

Taulukko 1: Eri mittauskertojen ero mitattavaan pituuteen.

TIE	TIEOSA	MITTAUS1	MITTAUS2	MITTAUS3	ERO (m)
942	7 JA 8	11785	11783		-2
	9 JA 10	9528	9524		-4
81	17	6600	6598	6597	-3
944	2, 3 JA 4	13324	13322		-2
21	107	6628	6627	6627	-1
79	3	6834	6833		-1
	4	8801	8800		-1
	5	6899	6898		-1
9262	1,2 JA 3	14086	14082	14084	-4
9552	1 JA 2	10574	10576		2
	3 JA 4	9170	9170		0
79	40 JA 41	12390	12389		-1
93	2	7665	7663		-2
	3 JA 4	11498	11497		-1

Käytännössä kun mitataan tieosa kerrallaan, matkat eivät ylitä 10 km. Suositeltava yhden mittausjakson pituus on todettu olevan <12 km. PTM-auton mittauskapasiteetti (tallennusmuisti) riittää n. 30 km yhtenäiseen mittaukseen.

Tutkimusmittauksissa selvisi että paalukohtaiset tulokset vaihtelivat hieman eri toistomittauksissa mittausohjelman pakotusominaisuuden sekä matkavirhe ongelman vuoksi. PTM-auton mittauksen ominaisuuksiin kuuluu pakotus täydelle metrille ja tutkimuksen alkuvaiheessa todellinen jakson pituus oli 4.3 m, sekä pakotus tasan 100:lle (pakotus ominaisuus aiheuttama ongelma poistui uuden mittausohjelmaversioiden myötä kesällä 1998). Tällä hetkellä mittausjaksonpituus, jolle lasketaan 5m-IRI on 5 m. Kesä - ja kevätmittauksien kohdistus tehdään editoimalla mittaustuloksia pakottamalla kuvaajista löytyvien piikkien avulla mittaustulokset kohdalleen. Tällaisia piikkejä antavat mm.ssa sillat, rummut jne.

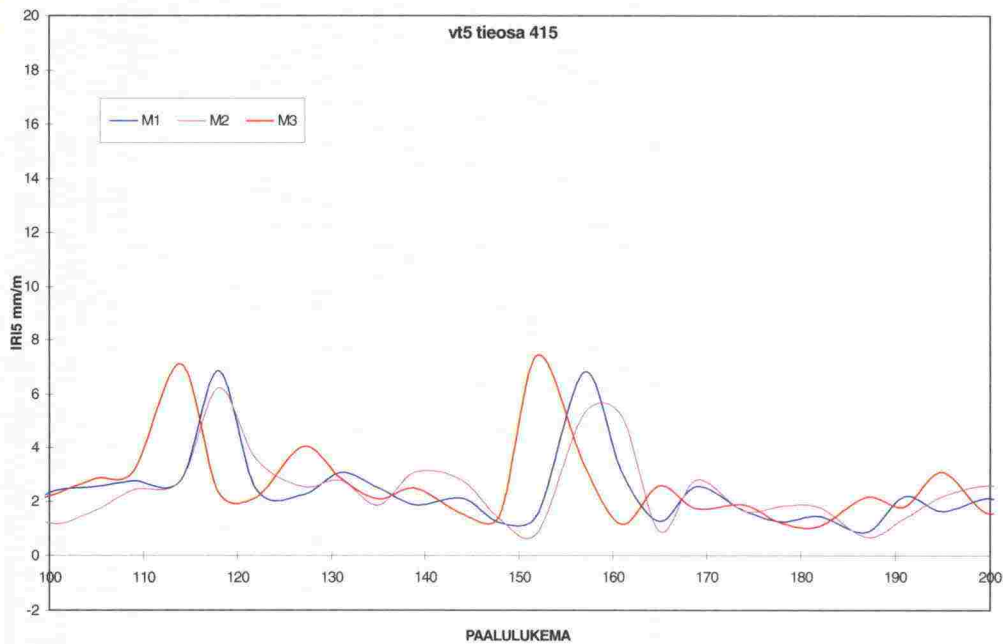


KUVA 1. Ylin jana (MITTAUS1) kuvaa mittauskerran 1 mittausjaksojen sijoittumista vauriokohdalle ja alempana oleva jana (MITTAUS2) vastaavasti mittauskerran 2 sijoittumista samalle vaurio-osuudelle. Alimpana on päällysteen yläpinnan pituusleikkaus, jossa on paikallista epätasaisuutta.

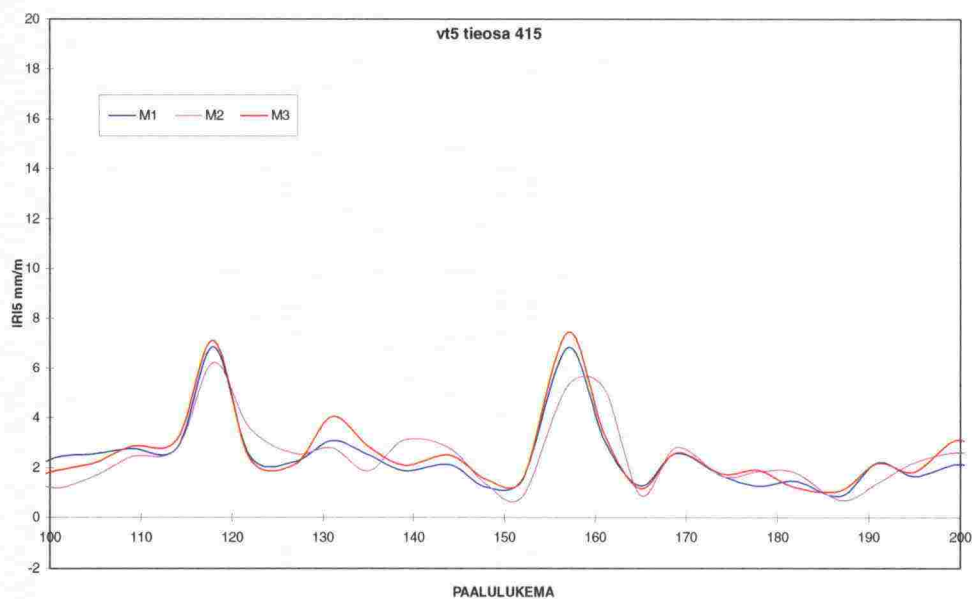
Kuvassa 1. on selvitetty esimerkillä mittausjakson vaikutusta tuloksiin. Tummennetulla viivalla on kuvattu tienpintaa jossa on paikalliset epätasaisuudet. Ylinnä olevaan mittaus1-janaan epätasaisuudet ovat sijoittuneet siten että molemmat jaksot (5 m) ovat laskeneet osan epätasaisuudesta mukaan. Mittaus2-janassa koko epätasaisuusosuus on sijoittunut yhdelle mittausjaksolle, joten se antaa suuremman 5m-IRI:n mittausjaksolle (5 m) kuin mittaus1.

Kuvan 1. Tapauksessa mittauskerran 1 mittausjakso on siirtynyt n. 2m edemmäs kuin mittauskerran 2 jakso. Kyseinen kohta antaa eri 5m-IRI arvot, koska vauriot mittauksessa jakaantuvat kahdelle 5 m:n jaksolle, kun taas mittauksessa 2 yhdelle jaksolle ja näin suhteessa nostattavat 5m-IRI:n arvoa verrattuna mittaukseen 1. Kyseistä kuvan 1 ongelmaa esiintyy lähinnä pakkaskatkojen kaltaisilla (reiät, paikkaukset jne.) vaurioilla. Yleensä kyseiset kohdat eivät vaadi erikoista rakenteen peruskorjausta, vaan ne poistuvat yleensä päällysteen levityksen yhteydessä. Edellä mainitun ominaisuuden vuoksi lyhyet, yhden jakson korkeat arvot saattavat tasoittua kahdelle jaksolle. Tämän ilmiön vaikutus rakenteellisten vaurioiden kartoittamisessa on merkityksellinen.

Auton ajolinjojen merkitys kohteiden paikallistamiseksi on kuvissa 2 ja 3 esitetty ongelma joka johtuu ajolinjojen merkityksestä. Tässä tapauksessa ennen tieosaa 415 oli jo mitattu tieosa 416 (2-suunta) ja mittausmatkan eroksi koko mittausmatkalta tuli vain 2 m. Kohteen keskellä M3:ssa on tapahtunut 5 m:n mittausjakson siirtymä, joka näkyy M3:n poikkeamana mittautuloksissa. Mittauksissa ei ole todettu yli 2:n pulssin siirtymiä (10 m), joten vauriokohta pystytään oikein suoritettulla yhdellä mittauksella varmuudella osoittamaan +/- 5 m:n tarkkuudella.



Kuva 2. Editoimaton mittausdaatta, missä on mitattu sama kohta tieosalta 3 kertaa, yhdellä mittauskerralla on tapahtunut selvä 5m:n siirtymä paalutuksessa.

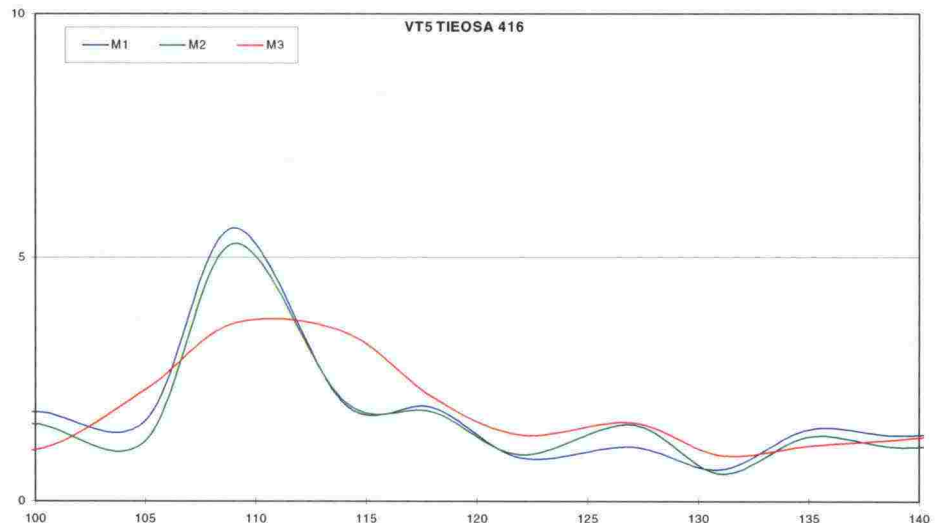


Kuva 3. Editoitu mittausdaatta, missä on yksi poikkeava mittauskerta (M3) on editoimalla lähtötiedoston paalutusta saatu kaikkien paalutus samalle vauriokohdalle.

Kuvassa 3. On mittautuloksia editoimalla tehty yhden mittausjakson lisäys merkitsemättömälle paalulukemalla (5m-IRI < 1.5 mm/m). Tällöin tutkimuksiin on saatu vaadittava tarkkuus.

Kuvissa 2 ja 3 on paikalliset lyhyet (alle 5 m) reunapainumat, jotka aiheuttavat auton keinuntaa.

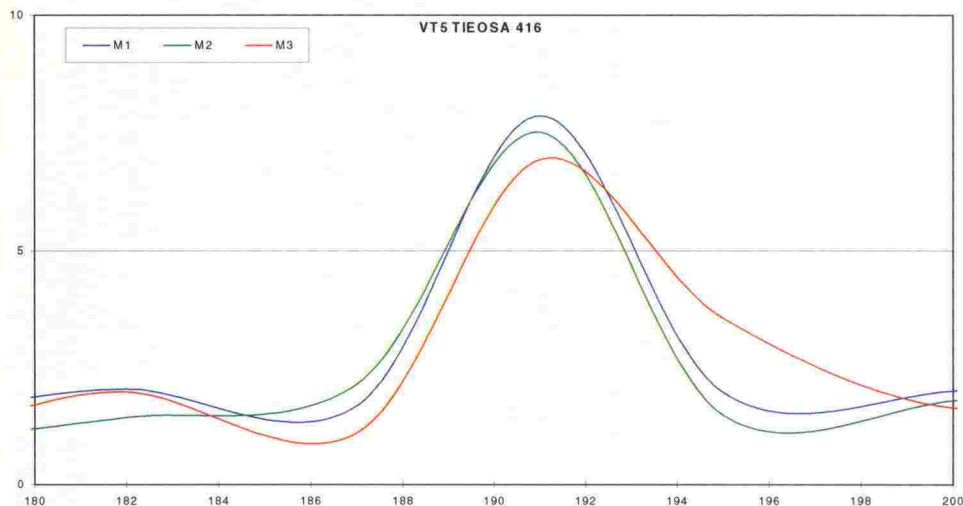
Kuva 4. on esimerkki miten mittauksien (Kts kuva 1.) 1 ja 2 (M1 JA M2) mittausjaksot ovat sijoittuneet vauriokohtaan nähden identtisesti samalle välille, kun taas mittaus 3:lla (M3) on ollut siirtymää. Kun väliltä PL 105-122 lasketaan keskiarvot $M1 = 2.40$, $M2 = 2.26$ ja $M3 = 2.57$ niin huomataan, että tulokset asettuvat 0.3 mm/m:n sisälle. Tämäntyyppinen siirtymä on hankala tuloksien analysoinnissa ja hyvä esimerkki siitä jos olisi mitattu vain kerran (M3) ja luotettu yksistään 5m-IRI-arvoon, niin vauriokohta olisi jäänyt merkkeamatta. Tämä kohta kuitenkin löytyy kun käytetään 15 m:n liukuvaa keskiarvoa ja rajaksi laitetaan 3 mm/m . Tuloksien analysointiin palataan kappaleessa 7.



Kuva 4. Mittausjaksojen siirtyminen on aiheuttanut mittauksessa 3 (M3) 5m-IRI arvon pienentymisen n. 2.0 mm/m

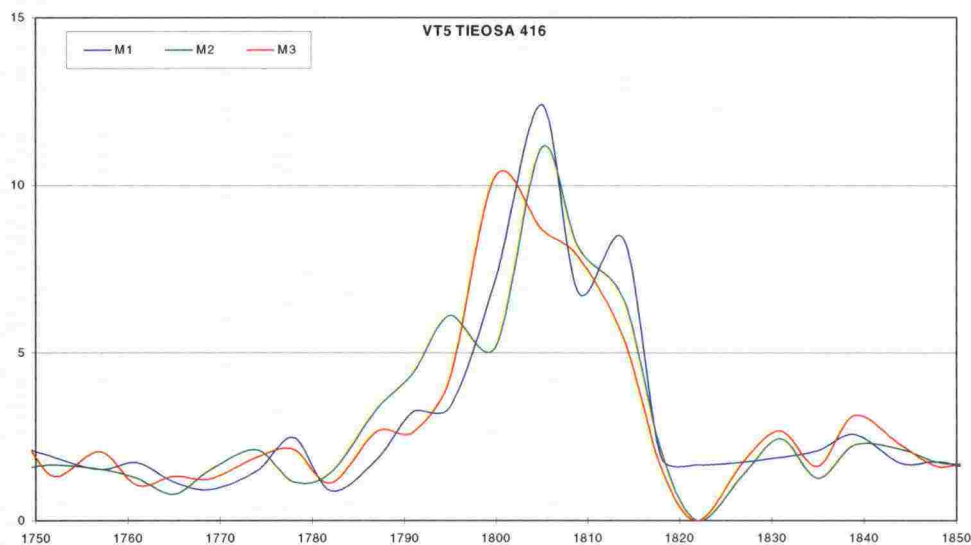
Kuvan 4. kaltainen yksittäisen epätasaisuus tulee poistumaan seuraavassa päällysteen uusinnassa, sillä levityskalusto pystyy oikaisemaan lyhyet painumat. Tähän palataan myöhemmin. Tästä kohdasta on vielä hyvä todeta se, että jos epätasaisuusarvot pysyttelevät pitkään alhaalla ja nousevat sitten nopeasti yli 4 mm/m , niin ainakin silmämääräinen havainnointi pitäisi suorittaa kyseisellä kohdalla.

Kuvassa 4. on routavaurio, pituushalkeamaa ja reunapainumaa. Tie kuitenkin suhteellisen tasaista.



Kuva 5. Mittauksessa 3 (M3) on tapahtunut lievä siirtymä ja maximi arvo eroaa minimistä 0.94 mm/m ($M1=7.87$, $M2=7.52$, $M3=6.93$).

Tämäntyyppiset siirtymät olivat yleisimpiä ja niiden vaikutus tuloksien arvoihin ja vaurioiden määrittämisen tarkkuuteen on minimaalisen pieni. Kuvassa 5. Paalulla 191 on pakkaskatko ja lyhyt painuma (2 m) ja mittausjaksot ovat osuneet juuri vaurion kohdalle. Tutkimuksissa todettiin että tien epätasaisuuden kasvaessa myös toistomittauksien tuloksien erot kasvavat. Vauriokohdan ollessa pitempi kuin 10 m. mittausjaksojen siirtymän aiheuttama vauriokohdan paikantamisen tarkkuudesta johtuva ongelma häviää ja sen vaikutus säilyy ainoastaan 5m-IRI arvoon.



Kuva 6. Kuvan epätasaisuudet sijaitsevat pitemmällä matkalla, jolloin myös mittausarvojen hajonnat suurenevät.

Kuvassa 6. On rummun siirtymäkiilojen aiheuttamat epätasaisuudet. Paikalla on kaksi pakkaskatkoa ja rumpuheitto.

Edellä mainituissa kuvissa 2-6 on tuloksia käsitelty 3 mittausarvon peräkkäisinä keskiarvoina, jolloin tuloksien tulkinnasta saadaan selkeämpi kuva. Tutkimuksen tarkoituksena on kuitenkin määrittää 5m-IRI:lle tietyt raja-arvot ja käyttäytymismallit erityyppisten vaurioiden kartoittamisessa, joten jatkossa pitäydytään yksittäisissä, jatkuvissa arvoissa. Yksittäiset arvot, niiden muutokset ja ominaisuudet kertovat analyysoijalle enemmän vauriotyypistä ja sen ominaispiirteistä kuin keskiarvoa käytettäessä.

7 OMINAISKÄYRÄT

7.1 ERITYYPPISET VAURIOTYYPIT JA NIIDEN OMINAISKÄYRIEN MÄÄRITTÄMINEN

Tiestön vauriotyypit voidaan jakaa pääryhmiin, kuten kantavuuden pettämiset, routavauriot, päällystevauriot jne. Usein tiessä oleva vauriokohta ei rajoitu pelkästään yhteen vauriotyyppiin sillä tiessä voi olla useiden vauriosyiden summa. Tämän vuoksi 5m-IRI:n arvolla yksistään on mahdoton sanoa mistä vaurio johtuu, vaan kyseisillä epätasaisuuskohdilla on suoritettava tarkemmat tutkimukset, joista visuaalinen analysointi on tärkein. 5m-IRI:llä pystytään tunnistamaan suhteellisen tarkasti vauriotyypit siten, että ominaiskäyrät kertovat vauriotyyppin ja minkä tyyppisestä vauriosta on kysymys, kuten pakkaskatkot, pahat heitot/painumat jne. Vauriotyyppien tulkitseminen 5m-IRI-käyrien perusteella vaatii tulkitsijaltaan kokemusta vauriotyypeistä. Tutkimuksissa saatujen tuloksien perusteella löydettiin maastomittauksissa selitys kaikille 5m-IRI-arvon $> 5\text{ mm/m}$ 90 %:sti ja kaikille $> 7\text{ mm/m}$ 100 %:sti.

Raja-arvojen määrittämiseksi jokaiselta päävauriotyypiltä otettiin 3-15 vauriolle tyypillistä kohdetta jotka analysoitiin tarkasti. Näiden kohteiden avulla luokiteltiin vaurioiden raja-arvot. Raja-arvot jaetaan 3 pääryhmään lievään, kohtalaiseen ja pahaan.

-”Lievä” on vaurio, jossa on jonkinasteista vaurioita, mutta ei aiheuta toimenpiteitä.

-”kohtalainen” on vaurio joka olisi syytä selvittää tarkemmin mistä vaurio johtuu ja mahdolliset korjaustoimenpiteet

-”paha” on vaurio, joka aina pitäisi tutkia tarkemmin ja selvittää vaurion syyt ja mahdolliset korjaustoimenpiteet

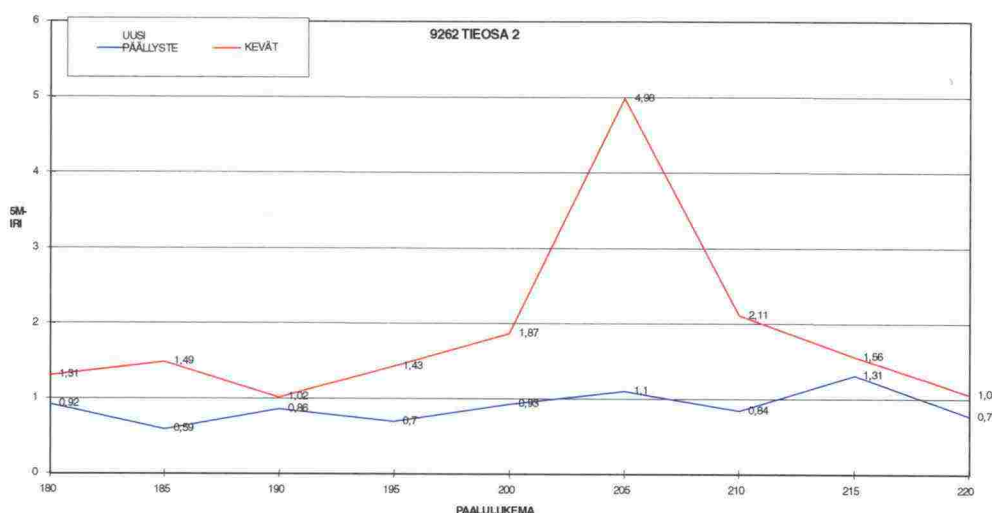
Parametreinä saadaan arvot mm/m, keskihajonta, keskiarvo sekä amplitudit ja vaurion pituus. 5m-IRI (mm/m) kertoo epätasaisuuden arvon, keskihajonta ja vaurionpituus tarkentavat vauriotyyppiä. Amplitudi kertoo paljon vauriokohdasta ja sen tyypistä. Lisäksi yhtenä parametrinä käytetään suhteellista muutosta, eli 5m-IRI-arvon muutosta edellisestä arvosta. Tämä kertoo kuinka nopea epätasaisuuden muutos vauriokohdalla on.

Kevät – ja kesämittauksien vertailusta saadaan routakäyrä vähentämällä kesämittauksien arvot kevätmittauksista. Routakäyrä kuvaa epätasaisuuden muutosta keväällä verrattuna vastaavaan epätasaisuuteen kesällä. Kevät- ja kesämittaustuloksien parametrit saattavat poiketa toisistaan erittäinkin paljon, sillä roudan aiheuttamat muutokset saattavat olla tiessä huomattavia. Erityyppisille vauriotyypeille on erittäin vaarallista antaa absoluuttisia raja-arvoja pelkästään 5m-IRI-mittauksen avulla, mutta kokemuksen perusteella voidaan antaa suuntaa antavia raja-arvoja ja suunnittelijan harkintaan jää toimenpiteet.

8 YKSITTÄISTEN MITTAUKSIEN SUHDE TIEN POIKKEAMISIIN

8.1 PAKKASKATKOT JA POIKKIHALKEAMAT

Pakkaskatkojen ominaiskäyrille on tyypillistä erittäin suuret kulmakertoimet, eli suhteelliset 5m-IRI-arvojen muutokset. Yksittäinen arvo nousee erittäin jyrkästi huippuunsa ja samaten palaa normaaliin arvoon takaisin. Kuvassa 7. oleva punainen käyrä on tyypillinen lievän pakkaskatkon kuvaaja.



Kuva 7. Kuvassa punainen käyrä kuvaa lievää pakkaskatkoa, joka on kuitenkin poistunut päällystystyön jälkeen (sininen kuvaaja).

Kun kyseessä on pelkästään pakkaskatko ilman muita vaurioita, niin kuvaajassa ei näy kuin yksi selvä piikki. Mittausteknisistä syistä joskus pakkaskatko katoaa (kesiarvolaskenta), mutta se ei vaikuta 5m-IRI -analysoinnin tarkkuuteen. Nämä ns. mittaukselle reagoimattomat pakkaskatkot ovat yleensä korjaustoimenpiteiltään pieniä ja tehdään ilman erisuunnittelua paikan päällä päällysteen uusimisen yhteydessä.

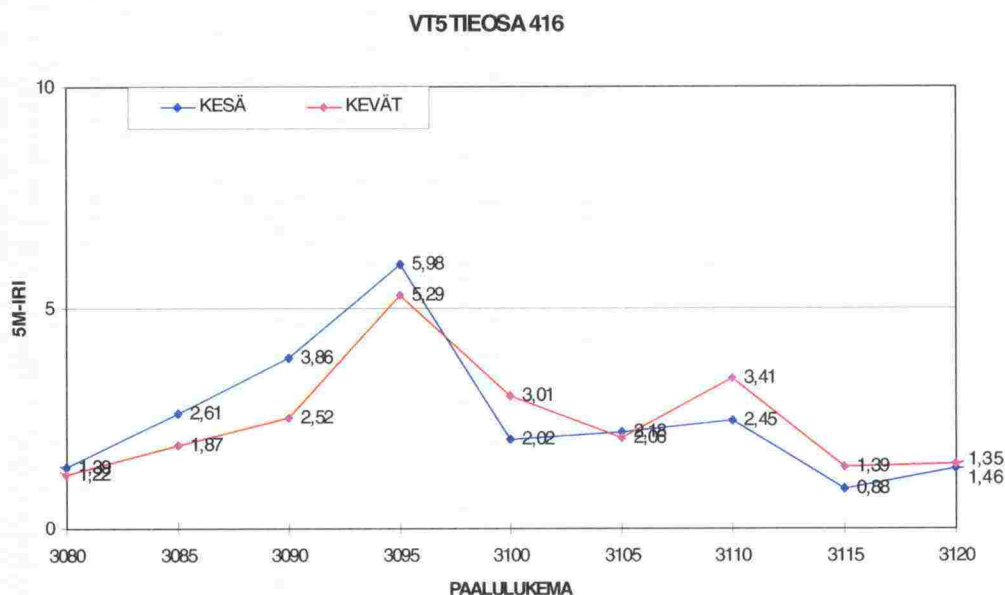
Kuvassa 7. on esitetty pakkaskatkon aiheuttaman epätasaisuuden korjaantuminen päällystystyön yhteydessä. Pelkästään asfalttilevittäjän perä pystyy tasamaan normaalissa päällysteen uusinnassa kyseisen kuvaajan mukaiset epätasaisuudet. Pakkaskatkon aiheuttamat epätasaisuudet ovat kadonneet kokonaan. Kyseisellä kohdalla ei ole tehty tasaustöitä.

Punainen käyrä kuvaa kuvassa 7. roudan aikana mitattua epätasaisuutta. Sininen käyrä kuvaa päällystystyön jälkeen mitattua arvoa ja voidaan todeta varmuudella että yhden piikin korkeat arvot katoavat pelkästään päällystystyön yhteydessä. Kyseisen tyyppiset pakkaskatkot ovat kuitenkin herkkiä ilmaantumaan uusille päällysteille suhteellisen nopeasti. Kyseiset

vauriot aiheuttavat lähinnä ajomukavuuden kannalta epämiellyttävää hakkaamista ja rasitusindeksin nousua ja sitä kautta ylimääräistä rasitusta tiestölle. Lisäksi kunnossapitokustannukset nousevat (paikkaukset jne.).

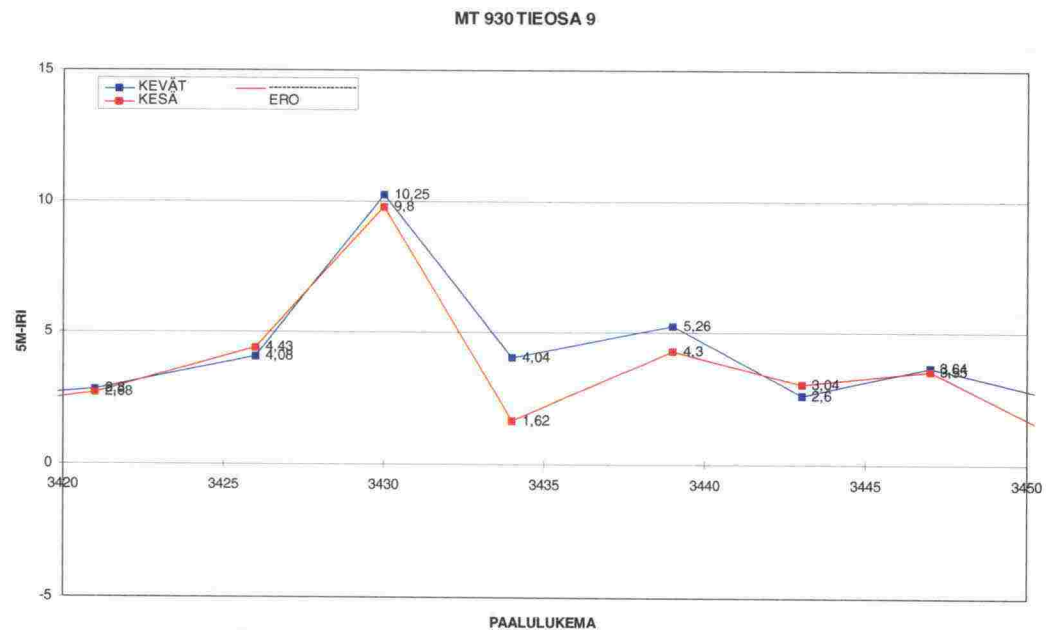
Kuvassa 7. on tyypillinen pakkaskatkon aiheuttama epätasaisuuskäyrä, jossa yksi arvo nousee yli 5 mm/m ja lisäksi kulmakerroin käyrässä on ennen ja jälkeen jyrkkä. Tämä kertoo vauriosta sen, että pakkaskatkon kohdalla ei ole tapahtunut routimista eikä reunojen painumista, joten suuresta rakenteellisesta vauriosta ei ole kysymys. Alla olevassa kuvassa 8. on sitä vastoin tapahtunut paalulla 3090 epätasaisuuden nousua ($2,61 > 3,86$) ennen varsinaista huippuarvoa (5,98). Kyseisen nousun voi aiheuttaa kaksi eri syytä, eli mittausjaksot eivät ole osuneet kohdalleen (vrt. Kappale 6) tai pakkaskatkon lisäksi tiellä on myös muita vaurioita.

Kuten edellä on tullut ilmi voidaan pakkaskatkot jakaa kahteen pääryhmään, lievät ja kohtalaiset pakkaskatkovauriot. Lievän pakkaskatkon tunnusmerkit ovat vain yksi arvo yli 5 mm/m ja amplitudin maksimiarvo alle 6 mm/m (edellisen tai jälkeisen arvon erotus maksimiarvosta). Lisäksi kulmakerroin on jyrkkä $> 0.5\text{mm/m}$ (edellisen tai jälkeisen arvon erotuksen suhde mittausjaksoon). Lievän pakkaskatkon kaltaisen kuvaajan voi myös antaa alle 5:n metrin paikallinen vaurio, kuten reiät, mekaaniset vauriot tiessä yms. Kuvassa 8 on esimerkki lievän pakkaskatkon käyrästä (kevät).



Kuva 8. Kuvassa on kesä- ja kevätmittauskuvaajat tieltä, missä pakkaskatko ja lievä painuma pakkaskatkon jälkeen (tieosa mitattu 2. Suuntaan)

Kohtalainen pakkaskatko on vaikeampi määrittää pelkästään pakkaskatkoksi sen käyrän perusteella, koska kohtalaiseen pakkaskatkoon liittyy aina myös muita vaurioita, jotka heijastuvat pitemmälle matkalle. Verrattuna lievään pakkaskatkoon selvä piirre on amplitudiarvon pieneneminen sekä kulmakertoimen pieneneminen vauriokohdan jälkeen. Tämä johtuu vauriokohdan aiheuttamasta rasitusindeksin noususta, joka aiheuttaa mekaanisen kuormituksen nousua ja sitä kautta kasvavaa epätasaisuutta myös vauriottomalle pinnalle välittömästi vauriokohdan jälkeen. Nousevat kulmakertoimet ja amplitudit pysyvät kuitenkin samansuuntaisina kuin lievässä pakkaskatkossa. Kohtalaisella pakkaskatkolla on kuitenkin 2 peräkkäistä arvoa yli 5 mm/m ja poikkeuksetta 1. arvo on suurempi kuin 2. arvo.



Kuva 9. Kohtalaisen pakkaskatkon aiheuttama 5m-kuvaaja.

Kuvassa 9. on kohtalaisen pakkaskatkon aiheuttama käyrä. Pakkaskatkon lisäksi heti sen jälkeen on ollut epätasaisista reunapainumaa joka on jatkunut heti katkon jälkeen. Kyseisestä kuvaajasta ei pysty yksistään selvittämään vaurion syytä vaan käyrä on tyypillinen pakkaskatkolle vain nousevan kulmakertoimen ja amplitudin osalta.



Valokuva 1. Kuvassa on tyypillinen kohtalainen pakkaskatko, jonka 5m-IRI on esitetty kuvassa 9.

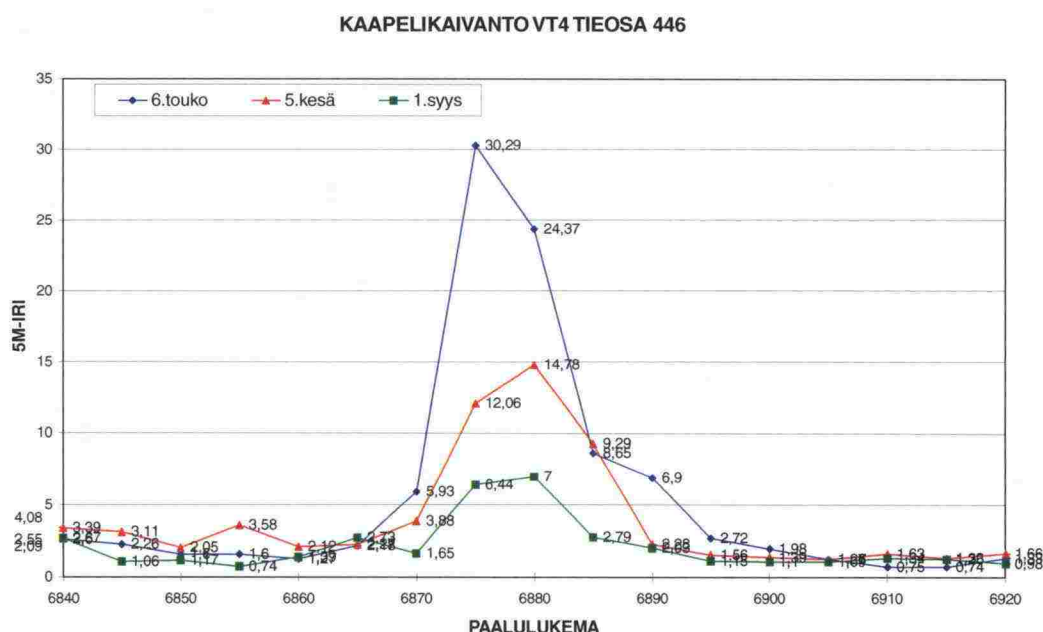
Paha pakkaskatko jo sisältää niin paljon muita vaurioita että sitä ei voi luokitella pelkästään pakkaskatkoksi, vaan määräävämmäksi tulevat erityyppiset kantavuuden pettämiset, routaheitot, päällystevauriot jne. tällöin puhutaan jo rakenteen pahemmasta vauriosta ja pakkaskatkon vaikutus on vauriosummaan erittäin pieni.



Valokuva 2. Poikkihalkeama tiessä, jonka käyrä voi olla vaurion lyhyiden vuoksi kohtalaisen pakkaskatkon muotoinen. Tämän tyyppistä vauriota ei voida lukea pakkaskatkoksi vaan pahaksi routavaurioksi. Yleensä vauriokohta ulottuu pitemmälle matkalle.

8.2 KAAPELI - JA PUTKIKAIVANNOT

Kaapelikaivannot ovat yleensä poikittaisia tienalituksia ja vaurioiden sijaintimatka on lyhyt. 5m-IRI arvot ovat samantyyppisiä kuin pakkaskatkoillakin, mutta maksimi arvot ovat huomattavasti suurempia kuin pakkaskatkoilla. Putkikaivannot ovat kaapelikaivantoja laajempia ja niiden vaikutus tierakenteeseen on laaja-alaisempi. Putkikaivantojen yhteydessä joudetaan yleensä rakentamaan siirtymäkiilat ja täten rikkomaan tierakenteen päällysrakenne. Putkikaivannoissa on yleensä ongelmana, varsinkin lämpöputkistojen tien alituksissa putkistosta muodostuva lämpövaikutus tierakenteeseen. Putkiston lämpövuodot aiheuttavat alusrakenteen epähomogeenisen lämpötilan vaihtelun alusrakenteessa ja tämä heijastuu ajoradan pinnan epätasaisuuden muutoksina kesän ja talven aikana.



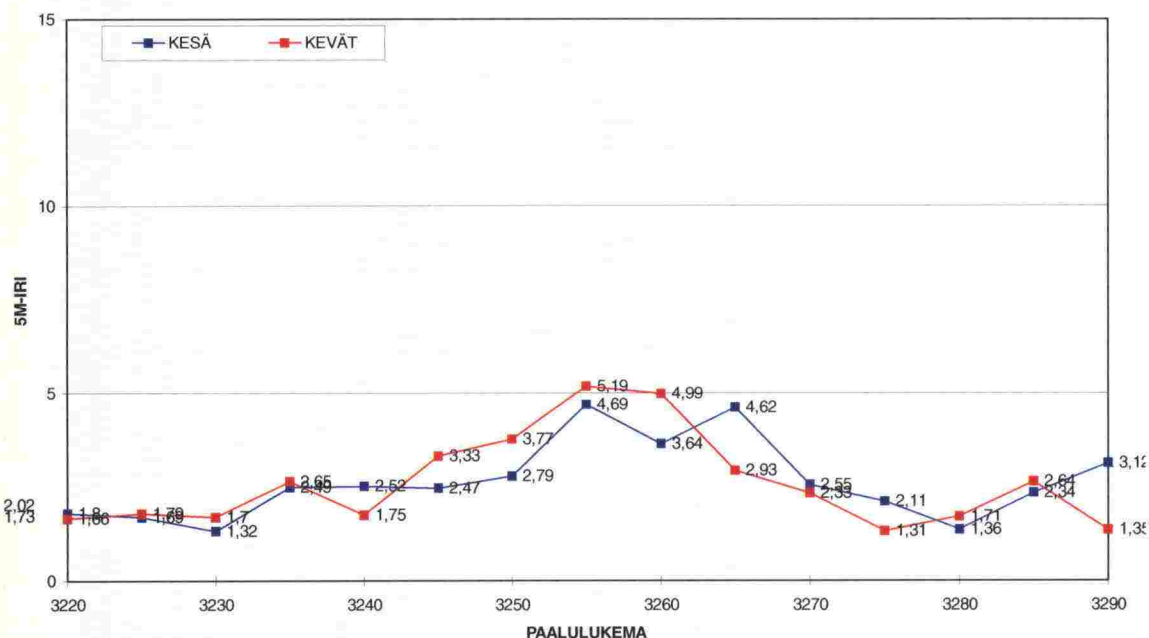
Kuva 10. Putki/kaapelikaivannon 5m-kuvaaja.

Kuvassa 10. On putkikaivanto jonka ympärillä oleva tierakenne routii. Tämä kaivanto sijaitsi valtatiellä ja aiheutti tärinävaikutuksia n. 20 m:n päässä olevaan rakennukseen. Kaivannon keskeltä mitattiin parhaimmillaan n. 40 mm:n painuma. Kesän aikana painuma tasoittui, mutta vielä syksylläkin se oli liian iso ajatellen valtatieluokkaa. Kuvaajasta käy hyvin selville miten kaivannon ympärillä oleva tie routii, mutta kaivanto pysyy sulana ja maksimi roudan aikana painuma on suurin

8.3 SIIRTYMÄKIILAT + KALLIO, RUMPUVAURIOT JA SILTAPENKEREET

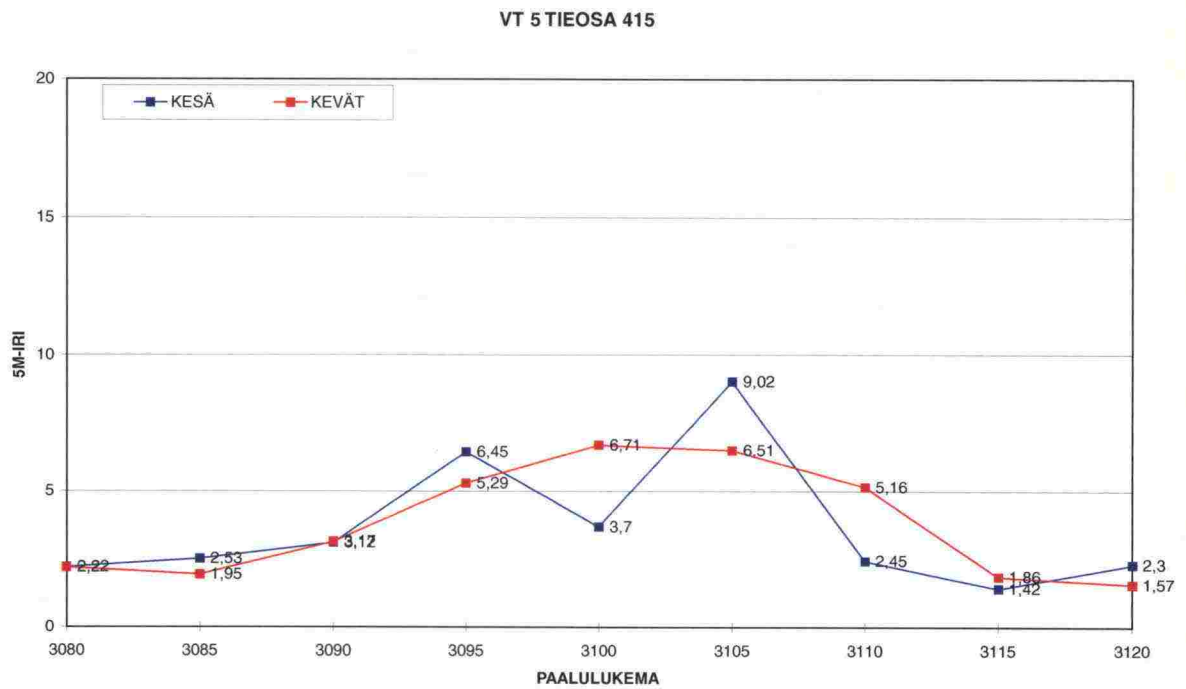
Kyseiset vauriot käyttäytyvät 5m-IRI-arvoilla niin saman tapaisesti, että niiden tyypittäminen pelkän 5m-IRI-arvon avulla on mahdotonta. Ainoa ero saattaa tietyissä tapauksissa olla se että jos 5m-IRI-arvossa on lyhyellä matkalla kaksi ns. piikkiä (siirtymäkiila+rumpu+siirtymäkiila) niin voidaan päätellä sen olevan rumpu, kun taas useimmiten pelkkä siirtymäkiila antaa vain yhden ns. piikin. Nämä kaksi erityyppiä on helppo erottaa visuaalisessa havainnoinnissa.

VT 5 TIEOSA 416



Kuva 11. Lievä routimaton rumpuvaurio

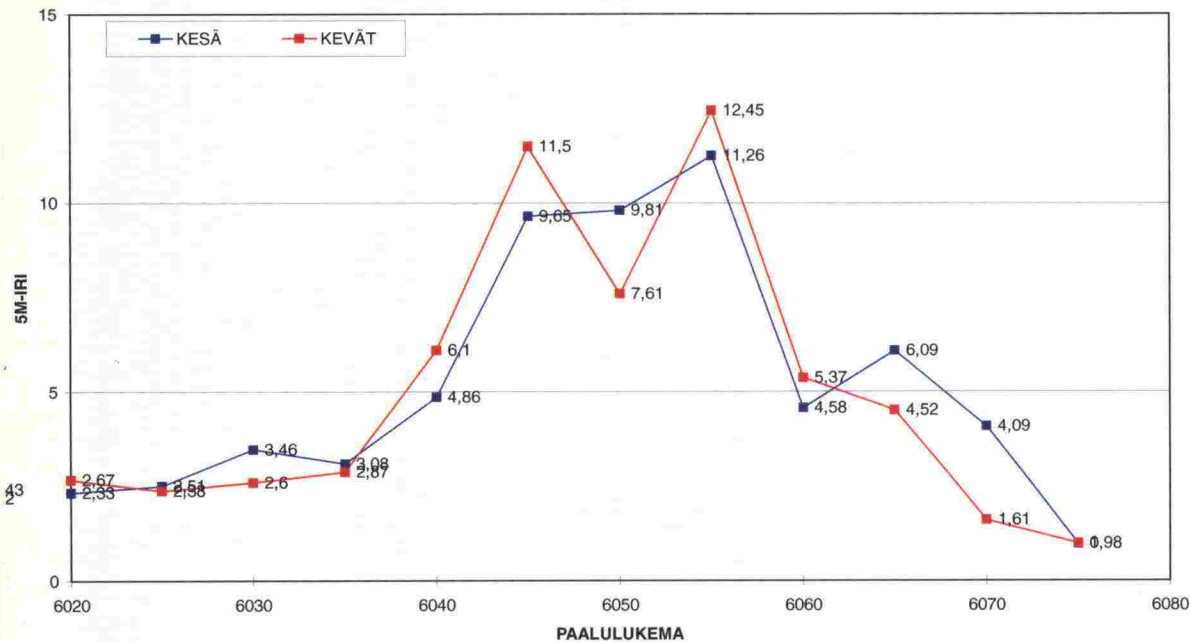
Kuvassa 11. on lievä rumpuvaurio. Erilaisuus esim. pakkaskatkoihin ja kaapelikaivantoihin on kuvaajan muoto. Yleensä rumpuvaurioissa 5m-IRI-arvot alkavat tasaisesti kasvamaan lähestyttäessä itse rummun kohtaa. Kyseinen rumpu oli hyvin lähellä päällysteen yläpintaa joten siirtymäkiila oli lyhyt, tai sitä ei ollut ollenkaan. Kyseiset rummut ovat hyvin yleisiä kovalle maalle rakennetulla penkereellä ja tämän tyyppiset 5m-IRI-arvot eivät aiheuta korjaustoimenpiteitä jos itse rummut ovat ehjiä.



Kuva 12. Kohtalainen rummun siirtymäkiilavaurio

Kuvassa 12. on kohtalainen rummun siirtymä kiilavaurio, jonka Kesäkuvaajasta nähdään selvästi siirtymäkiilojen aiheuttamat "piikit", rummun kohdan ollessa hieman tasaisempaa. Kevätkuvaajassa on tapahtunut lievä siirtymä joka on tasoittanut piikit. Tässä kevätkuvaajan rummulle tyypilliset ominaisuudet ovat kadonneet ja käyrän voi tulkita myös yksittäiseksi tasaiseksi painumaksi. Kyseisellä kohdalla oli selvät routivuuden merkit päällysteessä.

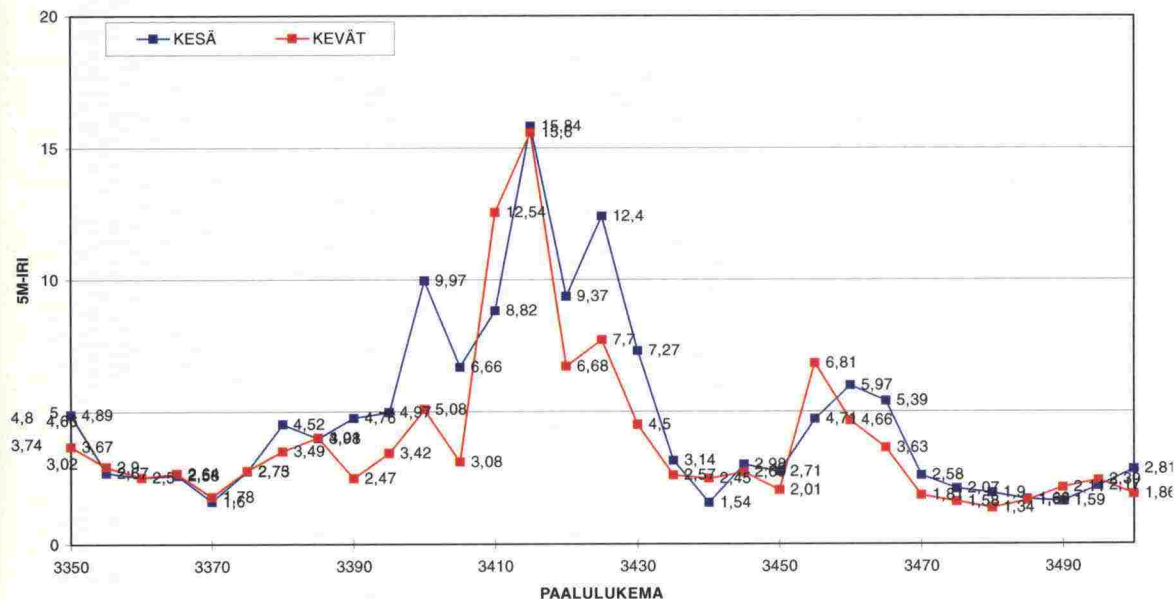
VT 5 TIEOSA 415



Kuva 13. Sillanpäässä oleva siirtymäkiilavaurio

Kuvassa 13. on sillanpäässä oleva siirtymäkiilavaurio. Paalulta 6040 paalulle 6070 on siirtymäkiilavaurio. Kevätmittaus antaa rummulle tyypilliset käyrät, joka johtuu siirtymäkiilan epätasaisesta routimisesta. Paikalla oli selvät routimis- ja kantavuudenpettämisen tunnuspiirteet (reunahalkeama, pakkaskatko ja painumaa). Routiminen kohdassa maksimissaan lievää. Käyrästä nähdään selvästi siirtymäkiilan vaurion pituus.

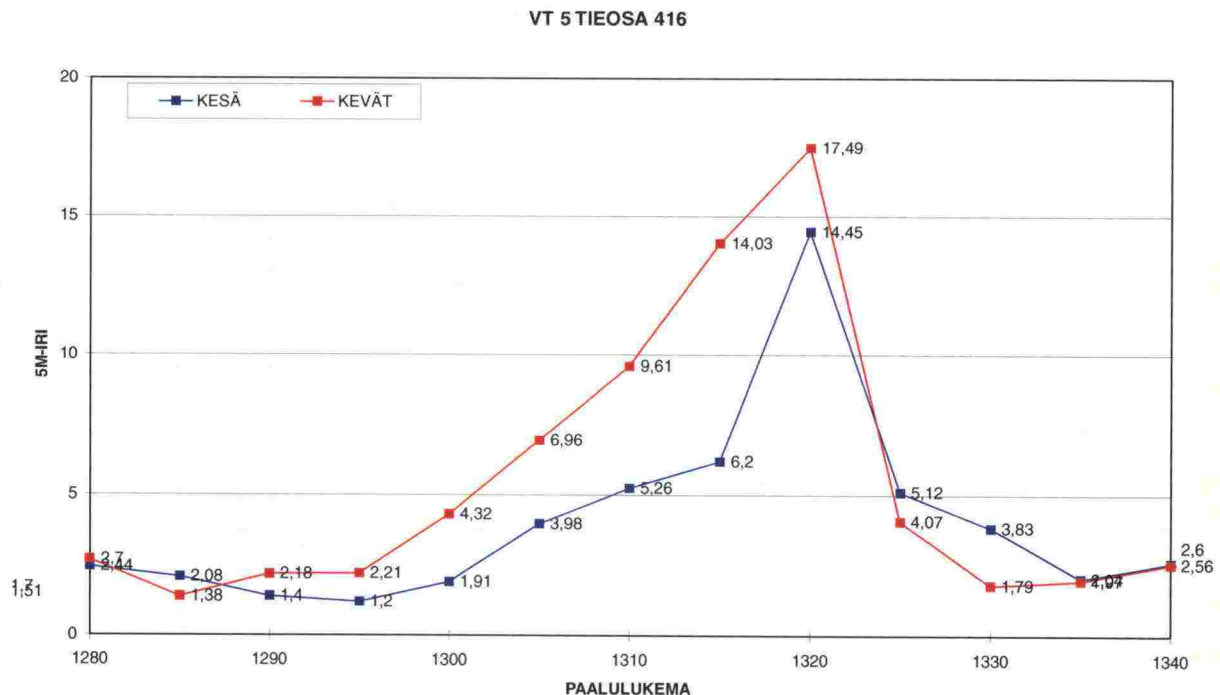
VT 5 TIEOSA 415



Kuva 14. Liikenneturvallisuudelle vaarallinen rumpurakenteen vaurio.

Kuvassa 14. on esitetty liikenneturvallisuudelle vaarallinen rumpuheitto. Kyseisessä tapauksessa rummunkohta on kesällä alempana kuin talvella ja tämän vuoksi routa tasoittaa talvella (rumpu on routimaton, mutta ympärillä oleva tierakenne nousee routivuuden vuoksi) rummun kohtaa, joka selittää kevätarvot pienemmiksi paaluilla 3400 ja 3425. Kyseistä rumpua on paikattu painuman vuoksi päällysteellä. Paalulla 3460 on mekaanisia päällystevaurioita. Kyseinen kohta on liikenteelle vaarallinen ja korjattava.

Kesäkuvaajasta käy hyvin ilmi rummulle olevat "ennakkopiikit" ennen ja jälkeen rummunkohtaa. Rummun kohdalla 5m-arvojen nousu johtuu huonosti tehdystä päällysteen korjauksesta.



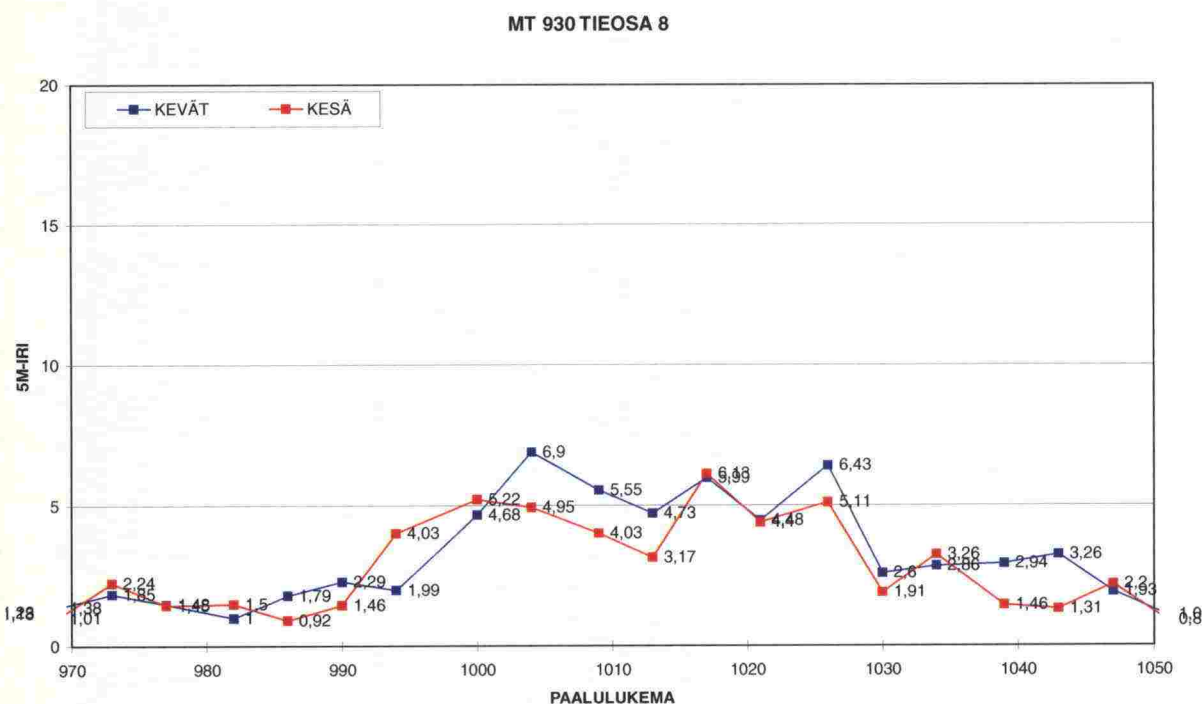
Kuva 15. Vaarallinen routiva rumpurakenne.

Kuvassa 15. on rumpuheitto joka poikkeaa täysin edellä mainituista rumpu- ja siirtymäkiilakuvaajista ja on lähempänä paikallista routavauriota kuin rumpuvaurioita. Kyseinen rummun kohta käyttäytyy tasaisuuden suhteen homogeenisesti ja itse rummun kohdalla on selvä piikki, mutta "ennakko" piikit puuttuvat. Kuvaajasta on taas selvästi havaittavissa mittaussuunta (2), eli kulmakertoimet ovat suurempia suuntaan 2 (pienenevään paalutukseen). Rummun ympäristö on erittäin routiva ja rummun kohdalla on painuma kesällä, joka korostuu talvella tierakenteen routiessa. Rummun routivuus on

pientä. Rummunkohtaa on paikattu ja se on kohtalaisen vaarallinen liikenteelle. (5m-IRI-arvot nousevat paikkauksen vuoksi n. 3 - 5 mm/m)

8.4 MONIMUOTOISET VAURIOKOHDAT

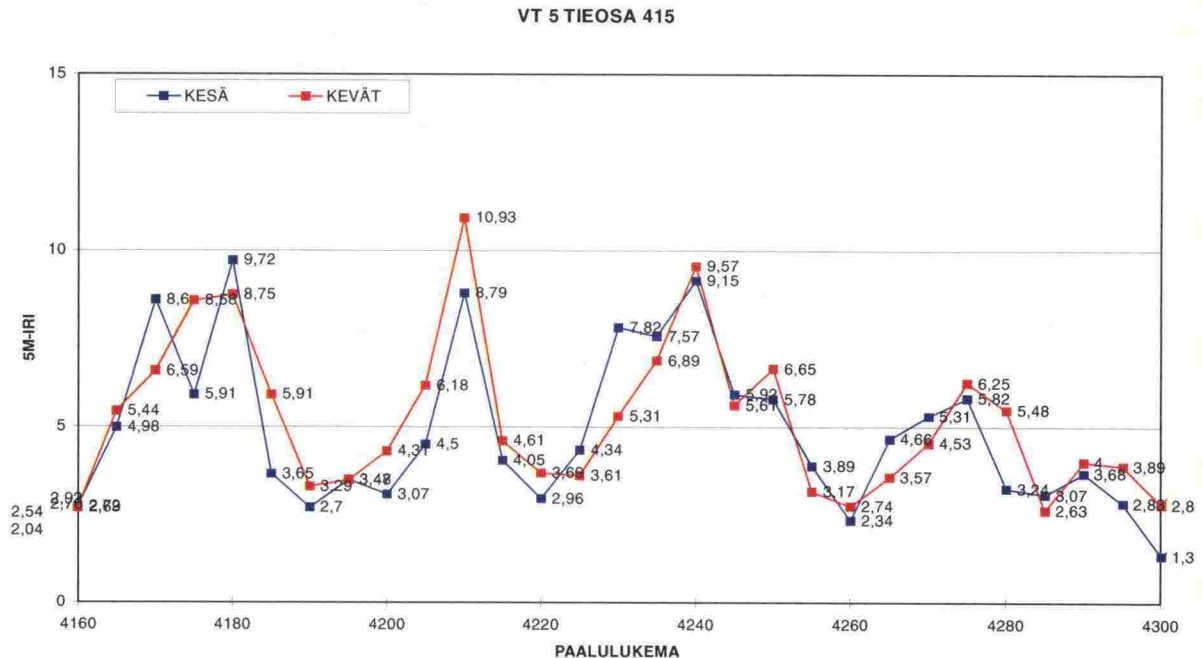
Moninaiset vauriokohdat ovat tyypiltään pitkällä matkalla esiintyviä jyrkkiä suhteellisten 5m-arvojen vaihteluja sisältäviä kuvaajia. Olennaista näille käyrille on se, että 5m-IRI-arvot saattavat hetkellisesti olla hyvinkin alhaalla lyhyitä matkoja vaurioiden sisällä, mutta taas yläarvot ovat hyvin korkeita.



Kuva 16. Lievää monimuotoista vauriota lievästi vaurioituneella päällysteellä.

Kuvassa 16 on lievä monimuotoinen vaurio, jossa esiintyy lievää routavaurioita, reunapainumaa, pituushalkeamaa sekä loivaa pitkää epätasaisuutta. Tyypillistä käyrälle on pitkään jatkuva yli 5 mm/m arvot, mutta oikein pahat piikit puuttuvat. Yleensä tämäntyyppisiä lieviä vaurioita esiintyy uudehkoilla päällysteillä, sillä vanhoilla päällysteillä ns. piikit nousevat huomattavasti korkeammalle tierakenteen heikkenemisen vuoksi.

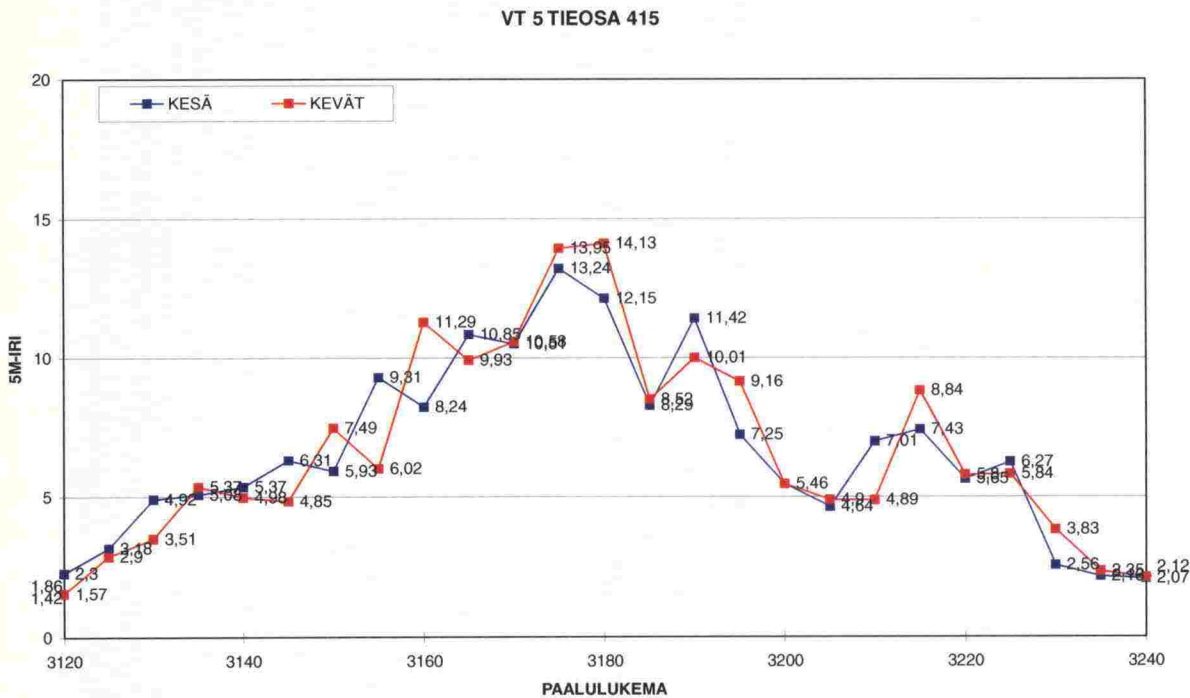
Kohtalaiselle monimuotoiselle vauriolla on tyypillistä korkeiden piikkien esiintyminen sekä amplitudien ja keskihajontojen kasvu.



Kuva 17. Kohtalaista moninaista vauriota, jossa tiellä näkyy lieviä routavaurioita päällysteessä.

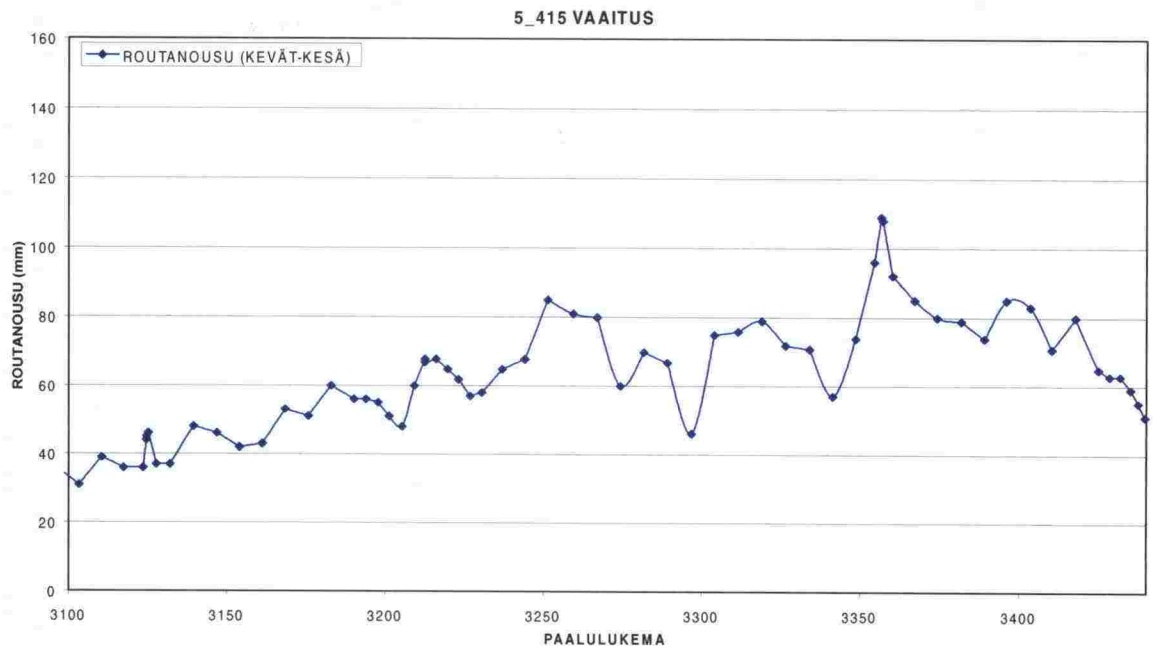
Kuvan vaurioanalyysi on seuraavanlainen: paaluvälillä 4160-4185 on rumpuheitto ja sen jälkeen tasaista paalulle 4200 josta vaarallinen heitto paalulle 4220, josta epätasainen reunapainuma jatkuu paalulle 4285. Koko matkalla oli päällysteessä myös lieviä routavaurioita.

Kohtalaisen ja pahan moninaisen vaurion rajakohdan vetäminen on hankalaa, mutta pahassa keskihajonta on useimmissa tapauksissa pienempi. Pahan vaurion ominaistyyppi on se, että vaurio jatkuu tasaisen huonona pitkiäkin matkoja, kun taas kohtalaisessa on parempiakin kohtia vauriokohtien välillä.

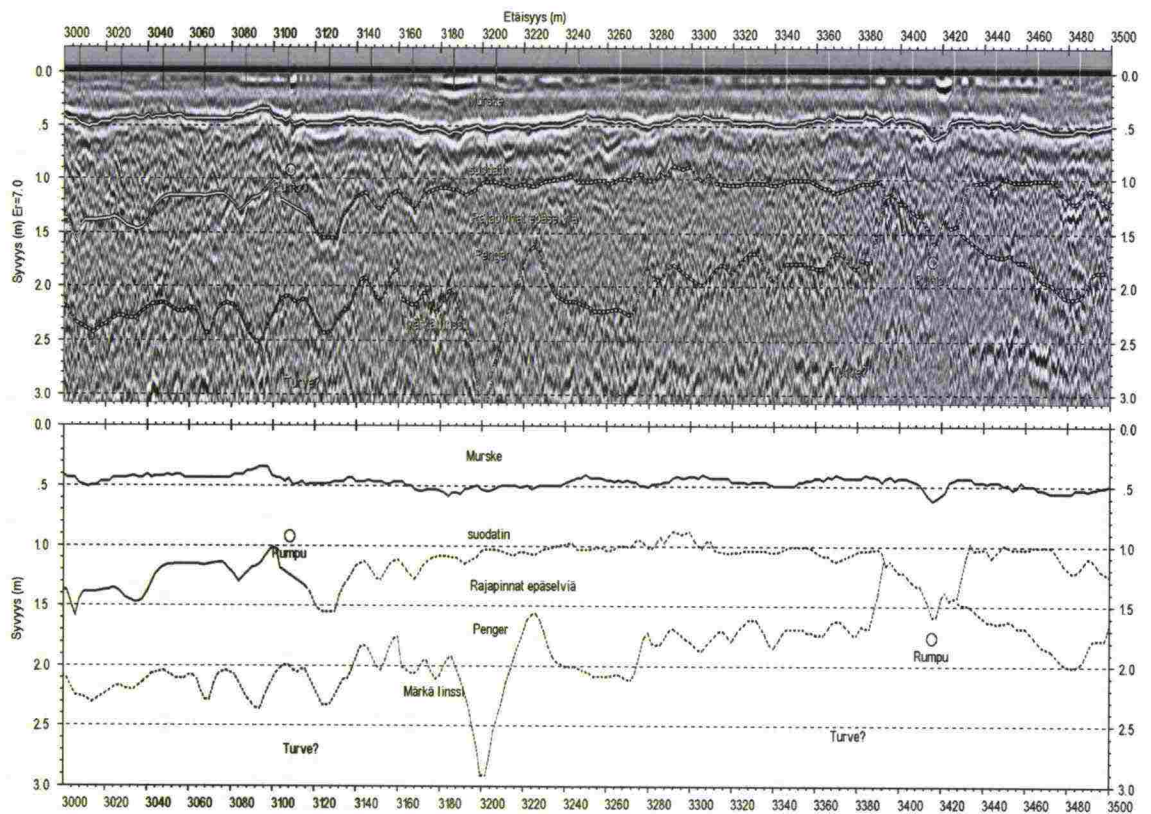


Kuva 18. Paha moninainen vaurio, joka vaatii korjausta. Routivuuden aiheuttama epätasaisuuden muutos on pientä, mutta routanousu on huomattavaa.

Kuvassa 18. on paha moninainen vaurio tyypillisineen kuvaajineen. Ominaista kyseiselle vauriolle on pitkään jatkuvat yli 5:n arvot, sekä yhtenäinen pitkä jakso yli 10:n rajan. Kuvaajasta näkee routanousun maksimikohdan paalulla 3180. Kyseisellä jaksolla on vaarallisen routanousun lisäksi kantavuuden pettämistä ja aikaisemmin tehty jo paikkauksia. Kyseinen kohta vaatii rakenteellista peruskorjausta.



Kuva 19. Routavaaitus tulokset kuvan 18. 5m-iri kuvaajasta. Routavaaitukset on tehty tien keskiliinjalta.

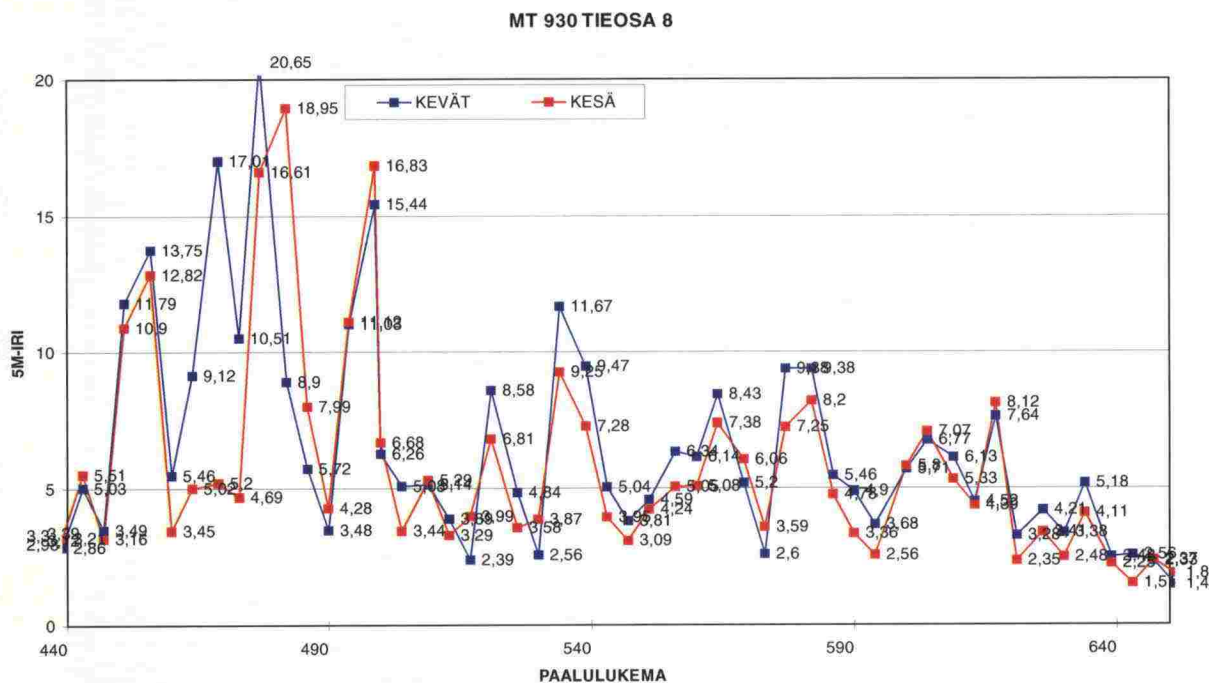


Kuva 20. Maatutkatulkinta kuvan 18. alueelta.

Kuvassa 19. On esitetty myös routavaaitustulokset VT5, tieosalta 415. Routamittaukset on tehty tien keskilinjalta, kun 5m-iri-mittaukset on tehty oikeasta ajourasta. Tulokset eivät ole sinänsä vertailukelpoisia, sillä tien reunassa muutokset saattavat olla huomattavasti erityyppiset kuin tien keskilinjalla. Tuloksista ilmenee että routanousu on suhteellisen tasaista ja jyrkät routanousun muutokset puuttuvat. Yhdistettynä 5m-arvot routavaaitustuloksiin, niin saadaan ongelmakohta tiessä rajattua pl 3120-3230. Paaluvälillä 3160 – 3220 tutkatulkinnosta paljastui märkä linssi ja jakavan alapinnalla oleva painuma turpeessa, joka aiheuttaa 5m-arvojen nousun päällysteen pinnassa. Tämä kohde on hyvä esimerkki siitä, että vauriokohta pystytään paikallistamaan tarkoin ilman kallista routavaaitusta 5m-irin ja tutkaluotauksen avulla. Routavaaituksen tekemistä tulee harkita vasta sitten kun 5m-mittaukset ja alustava tutkatulkinta on tehty, sillä useassa tapauksessa vaurioiden syyt selviävät jo näiden mittauksien perusteella.

Routivuus ei aiheuta suuria epätasaisuuksien muutoksia, mutta 5m-iri-arvot ovat niin korkeat, että rakenteen parantamiseen on syytä ryhtyä.

Kohteella tehtiin massanvaihto, jolloin rakenteesta paljastui vanhoja pasiina-rakenteita. Kuvassa 20. on esitetty tutkatulkinnat 500 Mhz:n antennilla mitatulta jaksolta.



Kuva 21. Kuvassa on esitetty toinen tapaus, missä esiintyy vuorotellen pahaa ja kohtalaista vaurioita



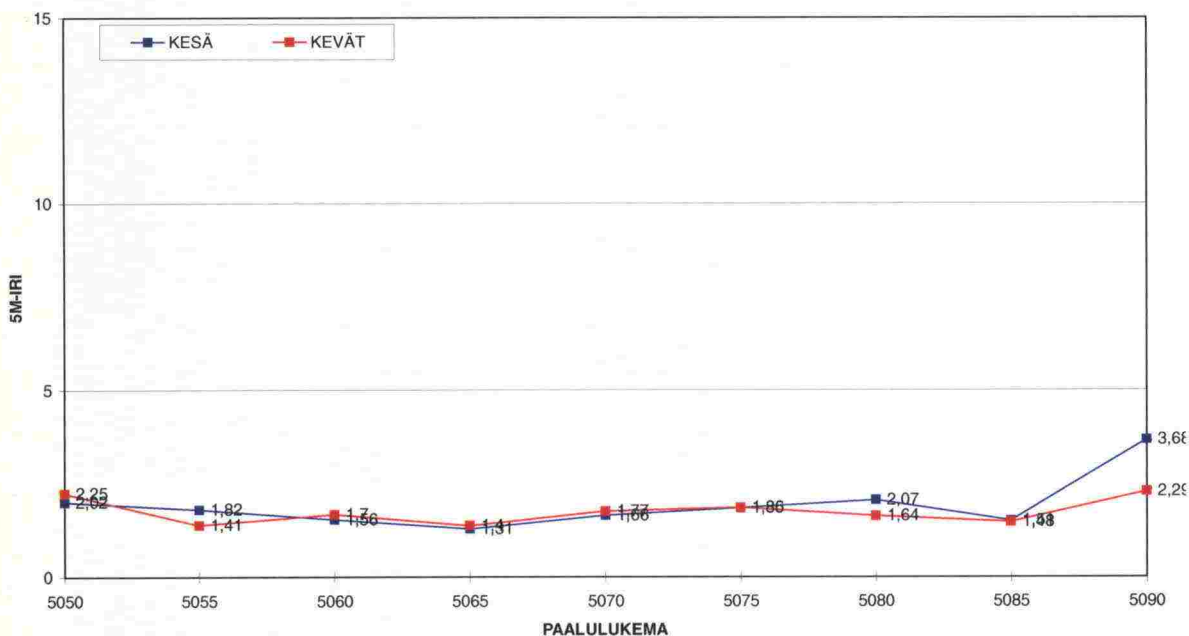
Kuten tieanalyysistä käy ilmi, että tieanalyysin ja 5m-IRI:n arvot korreloivat hyvin keskenään. Tierakenteen parantuessa paalulla 592, myös 5m-IRI-arvot laskevat. Varsin hyvin 5m-arvoja korreloivat sitomattomien päällyskerrosten (UnbStruc) ja routaväsymisen (FrostFtg) arvot.

Kuvissa 20 ja 21 esiintyy sekä pahaa, että kohtalaista jatkuvaa vauriota. Paalulta 450 alkaa sillan siirtymäkiilavauriot paalulle 500, josta erityyppiset vauriot (pituushalkeamat, eriaisteiset routavauriot ja kantavuusarvojen laskemiset jatkuvat paalulle 640. Päällyste ja sitomattomat kantavat rakenteet ovat erittäin heikossa kunnossa.

8.5 MUUT VAURIOT

Mittauksissa on todettu että normaalit verkkohalkeamat, jotka eivät ole purkautuneet eivät näy merkittävästi mittauksissa.

VT 5 TIEOSA 415



Kuva 23. Kuvassa on 5m-IRI-kuvaaja kohteelta, jossa on silmin havaittavaa verkkohalkeamaa, mutta purkautumista ei ole tapahtunut

Kuvassa 23. On koko matkalla (pl 5050-5090) verkko halkeamaa, mutta 5m-IRI on pysynyt alhaalla. Jos verkkohalkeamassa on tapahtunut purkautumista (reiät), niin kuvaaja on pakkaskatkojen kaltainen.



Valokuva 3. Verkkohalkeamaa joka ei näy merkittävinä arvojen nousuna 5m-IRI:ssä, jos tiellä ei ole muuta pituussuuntaista epätasaisuutta eikä reikiä. Tästä seuraava aste on päällysteen purkautuminen, joka nostaa 5m-arvot monimuotoisten vaurioiden tasolle.

8.6 PÄÄLLYSTEESSÄ OLEVAT REIÄT JA PAIKKAUKSET

Päällysteessä olevat reiät ja paikkaukset on syytä mitata mittaus vaiheessa ajaa niiden vierestä jotta ne eivät anna virheellistä tietoa koko tien epätasaisuudesta. Ajolinjat eivät saa kuitenkaan poiketa määräävästi oletetuista ajolinjoista. Tämä ongelma esiintyy erityisesti vanhoilla päällystetyillä teillä jossa päällyste on kulunut ohueksi.

9. SUOSITELTAVAT NUMERAALISET RAJA-ARVOT

9.1 ERI VAURIOTYYPPIEN RAJA-ARVOT

PAKKASKATKOT

TYYPPI	SUHTEEL- LINEN 5m- ARVON MUUTOS	KULMA- KERROIN	VAURION PITUUS	5m-IRI ARVOT
LIEVÄ	< 4 mm/m	> 1.5 mm/m	< 5 m	yksi arvo >5 mm/m
KOHTALAINEN	< 4 mm/m	< 1.5 mm/m	< 10 m	kaksi arvoa > 5mm/m ja max < 10mm/m
PAHA	> 4 mm/m	< 1.5 mm/m	> 10 m	max. kolme arvoa > 5mm/m ja max > 10 mm/m

KAAPELIKAIVANNOT

TYYPPI	SUHTEEL- LINEN 5m- ARVON MUUTOS	KULMA- KERROIN	VAURION PITUUS	5m-IRI ARVOT
LIEVÄ	< 5 mm/m	> 1 mm/m	< 10 m	max. kaksi arvoa >5 mm/m max .7 mm/m
KOHTALAINEN	> 5 mm/m	> 2 mm/m	< 20 m	min. kaksi arvoa >5 mm/m max, 15 mm/m
PAHA	> 10 mm/m	> 3 mm/m	> 20 m	min. neljä arvoa >5 mm/m min. 15 mm/m

SIIRTYMÄKIILA, KALLIO, RUMPU - JA SILTAPENKEREET

TYYPPI	SUHTEEL- LINEN 5m- ARVON MUUTOS	KULMA- KERROIN	VAURION PITUUS	5m-IRI ARVOT
LIEVÄ	< 2 mm/m	< 0.5 mm/m	< 15 m	< 6 mm/m
KOHTALAINEN	< 5 mm/m	< 1.0 mm/m	< 30 m	min kolme >5 mm/m, mutta < 10 mm/m
PAHA	> 5 mm/m	> 1.0 mm/m	> 20 m	min kolme yli 7 mm/m ja lisäksi arvoja > 10 mm/m

MONIMUOTOISET VAURIOKOHDAT

TYYPPI	SUHTEEL- LINEN 5m- ARVON MUUTOS	KESKI- HAJONTA	KESKI- ARVO	VAURION PITUUS	5m-IRI ARVOT
LIEVÄ	< 2 mm/m	< 1.0 mm/m	< 5.0 mm/m	< 40 m	< 7.0 mm/m
KOHTALAINEN	vaihtelee 1-10 mm/m	< 2.0 mm/m	< 7.0 mm/m	> 40 m	vaihtelee 2.0 - >10.0 mm/m
PAHA	vaihtelee 1-10 mm/m	< 3.0 mm/m	>7.0 mm/m	> 40m	> 5.0 mm/m

**ROUDAN AIHEUTTAMAT EPÄTASAISUUDEN
MUUTOKSET TIERAKENTEESSA (ROUTAKÄYRÄ)**

TYYPPI	KEVÄT-JA KESÄMITTAUKSIEN EROTUS (X)	VAURION PITUUS	5m-IRI ARVOT
LIEVÄSTI ROUTIVA TAI ROUTIMATON	$-2 < X < 2$ mm/m	< 10 m	< 4 mm/m
KOHTALAISESTI ROUTIVA	$-4 < X < -2$ $2 < X < 4$	< 20 m	vaihtelee 4.0 - 10.0 mm/m
ROUTIVA	$-4 > X > 4$	> 10 m	> 10.0 mm/m

Routivuuden kartoittamisessa 5m-IRI:n arvolla on otettava huomioon kevät- ja kesämittauksien erotuksen jatkuvuus. Jos arvot vaihtelevat positiivisen ja negatiivisen välillä tiheään vauriokohdalla, niin tällöin ei välttämättä ole kysymys roudan aiheuttamasta epätasaisuuden muutoksesta, vaan mittauksen siirtymästä.

Huomioitavaa on myös se, että harvinaisissa tapauksissa routivuus voi myös parantaa 5m-IRI-arvoja keväällä.

Eri vauriotyyppien raja-arvot on määritelty vaurioilla oleville ominaiskäyrille ja sen vuoksi vauriotyypille määritellyt raja-arvot tukevat visuaalista analyysiä. Kyseiset raja-arvot ovat suuntaa antavia ja vaurioiden monimuotoisuuden vuoksi pelkkä numeraalinen analysointi ei tule riittämään. Raja-arvoja tullaan jatkossa tarkentamaan ja kokemuksen myötä niiden hyöty analysoijalle kasvaa. Raja-arvojen tarkkuus yksittäisille vauriotyypeille on luokkaa +/- 1 mm/m ja monimuotoisille keskihajonnan osalta +/- 0,2 ja 5m-IRI:n osalta +/- 1.5.

10. 5m-IRI:N KÄYTTÖKELPOISUUS

10.1 YHTEENVETO

5m-IRI on alueellisesti vakiinnuttanut asemansa yhtenä tutkimusmenetelmänä suunniteltaessa tierakenteen parannuksia. Tieanalyysissä 5m-IRI-mittaukset yhdessä uramittauksien kanssa luovat hyvän pohjan tutkimittauksien tulkitsijoille keskittyä ja löytää suunniteltavalta kohteelta epätasaisuuskohdat, sekä arvioida 5m-IRI:ä yhtenä työvälineenä käyttäen rakenteessa olevat vauriot ja niiden syyt. 5m-IRI-mittaus on hyvä työväline päällystesuunnittelussa arvioitaessa tulevien päällystetasauksien määrää, sekä kohdistamaan ne oikeille kohdille. Näin vältetään mahdollisilta arvomuutoksilta päällystystyön epätasaisuuden osalta.

5m-IRI-mittauksien tulosten käsittelyä ja käytön laajentamista jatketaan. Vuoden 2000 alussa on tavoitteena, että mittauksen yhteydessä kaikki kohteet saadaan kuvattua digitaalisessa muodossa videokuvaksi. Mittaustiedostojen käsittelyä varten tehty ohjelmisto on koekäytössä ja siitä on tarkoitus kehittää yksi perustyökalu. Tavoitteena on että mittausmenetelmä omaksuttaisiin yleisesti suunnittelijoiden keskuudessa niin päällystesuunnittelussa, kuin rakenteen parannussuunnittelussakin. Kiistattomasti voidaan todeta kokemuksen perusteella, että 5m-IRI-mittauksiin sijoitettu kustannus suunnitteluvaiheessa säästää itse rakennusvaiheessa monin kerroin mittauksiin käytetyt kustannukset. Suurimmat toimenpiteissä tulevat säästöt syntyvät 5m-IRI:n avulla toimenpiteiden tarkalla kohdistamisella, sekä toimenpiteiden oikeellisuudella. Lisäksi 5m-IRI-mittaukset korvaavat kallista routavaaitusta, sekä sen avulla routavaaitukset pystytään kohdistamaan vain tarpeellisille kohdille.

KIRJALLISUUSLUETTELO

1. ASTO, ASFALTTIPÄÄLLYTEIDEN TUTKIMUSOHJELMA 1987-1992
2. PALVELUTASOMITTAUSAUTON KÄYTTÖ JA TOIMINTA
LIIKENTEESSÄ HÄMEEN TIEPIIRI 11.3.1991 /JANI SAARINEN
3. PÄÄLLYSTEVAURIODEN INVENTOINTI / PVI92 –JÄRJESTELMÄ
Tiehallitus 1992, versiot 1.0 (6.3.1992), 1.6 (päivitys 26.4.1993), 1.7
(päivitys 10.3.1994)
4. PÄÄLLYSTETTYJEN TEIDEN PINTAKUNNON LUOKITTELU
Tiehallitus/työryhmän raportti 36/1992, TIEL 3200090
5. PÄÄLLYSTEVAURIODEN INVENTOINTIOHJE (PVI –OHJE)
TIEL/Tk, 13/1994, TIEL 400063
6. PÄÄLLYSTETYN TIEVERKON KUNTOMITTAUKSET JA
HALLINTAJÄRJESTELMÄT
TIEL/Tk, Lapin tiepiiri, Jukka Yliherva, TIEL 4000028 Raportin pohjalta
on laadittu englanninkielinen versio "Road condition measurements
and pavement management in Finland" /FinnRA Reports
52/1993/Taina Rantanen (TIEL 3200198E).
7. TASAISUUSMITTAUSAUTON KÄYTTÖOHJE. VTT/INS 5.9.1990
8. PTM –AUTOJEN TIEMITTAUSOHJELMA
VTT/INS/KARI RAINIO, VERSIO 2.0/15.9.1992, PÄIVITYS 27.1.1993
9. VTT:N PTM –AUTON JA IRI –AUTON TOIMINTAPERIAATTEET.
VTT/TGL –laboratorio 22.5.1990
10. PTM –AUTON TESTER –OHJELMAN PIKAKÄYTTÖOPAS
VTT/TGL –laboratorio 22.4.1992 (uusi versio 1997)
11. PÄÄLLYSTEEN LAJITTUMISEN MÄÄRITTÄMINEN
PALVELUTASOMITTARIN TUOTTAMAN MAKROKARKEUDEN
AVULLA
VTT/Yhdyskuntatekniikka, tutkimusraportti 216/Timo Kurki, Vesa
Laitinen, Espoo 4/1994
12. PTM –AUTOJEN URALASKENNAN PERIAATE
VTT/Yhdyskuntatekniikka, Muistio 27.8.1996, Antti Seise
13. PTM –AUTON TULOSTUSFORMAATTI
VTT/Yhdyskuntatekniikka, Telekopio 24.1.1997, Antti Seise
Kopiosta ilmenee PTM –mittausauton tulostiedoston formaatti-
muuttujat.

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-578-6
TIEL 3200582